MEMORIE

DELLA

PONTIFICIA ACCADEMIA ROMANA DEI NUOVI LINCEI

SERIE INIZIATA SOTTO IL PONTIFICATO DI LEONE XIII

E

CONTINUATA SOTTO GLI AUSPICI DELLA SANTITÀ DI N. S.

PAPA PIO X

VOLUME VENTESIMOSESTO

DEDICATO

A SUA SANTITÀ

IN OCCASIONE DEL SUO GIUBILEO SACERDOTALE

ROMA

TIPOGRAFIA PONTIFICIA DELL'ISTITUTO PIO IX

(Via S. Prisca N. 8-9)

1908

MEMORIE

DELLA

PONTIFICIA ACCADEMIA ROMANA DEI NUOVI LINCEI

L'Accademia non assume alcuna responsabilità
circa le opinioni scientifiche emesse dagli autori delle memorie.

MEMORIE

DELLA

PONTIFICIA ACCADEMIA ROMANA DEI NUOVI LINCEI

SERIE INIZIATA SOTTO IL PONTIFICATO DI LEONE XIII

E

CONTINUATA SOTTO GLI AUSPICI DELLA SANTITÀ DI N. S.

PAPA PIO X

VOLUME VENTESIMOSESTO

ROMA
TIPOGRAFIA PONTIFICIA DELL'ISTITUTO PIO IX
Via S. Prisca N. 8-9. — Aventino.

1908

D · N · PIO · X · PONT · MAX.

IN · CELEBRITATE · ANNI · L.

EX · QVO · SACERDOTIVM · EST · AVSPICATVS

ACADEMIA · LYNCEORVM · PONTIFICIA

HOC · VOLVMEN

LAETA · LIBENS · DEDICAT

PIETATIS · ET · OBSEQVI · TESTIMONIVM

PARENTI · PVBLICO

PRAECLARE · DE · STVDIIS · OPTIMIS · MERITO

QVOD

PATEFACTIS · ETIAM · DAMNATISQVE

EXITIOSIS · OPINIONVM · FALLACIIS

HVMANAE · COGITATIONIS · ITINERA

EXPEDIERIT

AVRELIVS . GALLI

MEMORIE

LA COMETA DI DANIEL

FOTOGRAFATA IN AGOSTO 1907 NELLA SPECOLA VATICANA

MEMORIA

del Prof. P. GIUSEPPE LAIS

Tra le più notevoli apparizioni cometarie vedute in Roma dopo quella dell'ottobre 1882 va annoverata l'ultima cometa di Daniel [1], scoperta il 9 Giugno 1907 a Princeton New Yersey (Stati Uniti di America) che dette bella mostra di sè in settembre, quando era nella vicinanza del perielio.

La cometa apparve nella costellazione dei pesci in posizione

$$\alpha = 23^h. 48' 33'' \qquad \delta = -1^\circ. 8'$$

Col suo avvicinamento alla terra sviluppò una lunga coda, stimata due milioni di chilometri, mentre il diametro della chioma, che dalla undecima grandezza visuale salì alla terza, avrebbe misurato dai 300 ai 400 mila chilometri.

Sulla fine del mese di agosto, quando era brillante, col favore di una bella serenità di cielo si tentò fotografarla con l'equatoriale della carta celeste della Specola Vaticana.

Era il caso di sperare nella fotografia, se non tutta, la parte più notevole della cometa: non tutta; perchè la luce sfumata dell'intera coda era troppo debole; ma con pose variate si sarebbe ottenuto ben molto, e non fosse altro la distinzione tra il nucleo e la chioma.

Fissata la fotografia per la data 19 agosto, il programma d'esecuzione non fu potuto attuare per disturbo d'importuni visitatori; e rimandata questa al giorno consecutivo, si trovò il cielo impuro, e invaso da una falange di nubi serrate, che lasciarono appena la spe-

[1] v. tav. I.

ranza di vederla in uno squarcio di nubi. Non tardò la concepita speranza ad avverarsi; e il cielo rasserenato quando era in vista la cometa per soli 20 minuti permise la fotografia.

La posa ebbe principio il 20.astr. 21.civ. di agosto da $1.^h$ $25.^m$ $56.^s$ a $1.^h$ $45.^m$ $56.^s$ di tempo sidereo.

A vista del collimatore il nucleo si mostrava distinto dalla chioma, e conformato a dischetto; la chioma presentava un bagliore diffuso, visibilissimo anche ad occhio nudo, somigliante a nebbia lùminosa che si protraeva in coda per molti gradi celesti.

Il giorno appresso con apparecchio d'ingrandimento se ne fece una positiva al collodio, nella quale le immagini fisse delle stelline visibili descrissero (come è noto) piccole tracce rettilinee, dalle quali risulta quanto poca fosse l'inclinazione all'equatore del corso della cometa, e quanta fosse la velocità angolare di traslazione.

Le stelline furono identificate sull'atlante dell'Argelander con la posizione del nucleo della cometa, calcolata per la mezzanotte dell'Osservatorio di Potsdam da G. Pybeck che era:

21 agosto t. m.

$$\alpha \text{ vera } 7.^h\ 31.^m\ 14.^s 2. \qquad \delta \text{ vera } + 16.^\circ\ 16.'\ 17.''\ 4$$

La brevità della coda fotografata (4′) non ci permette lo scandaglio della divergenza a ventaglio dei getti, ma ci dà indizio di trasparenza per la visibilità di qualche traccia stellare attraverso la coda.

La posizione astronomica della cometa sulla fotografia sarebbe stata misurabile con esattezza, se la lastra fosse stata reticolata (come si pratica per le lastre di Catalogo stellare); ma l'operazione che poteva farsi o antecedentemente, o posteriormente, prima però dello sviluppo, fu omessa per interesse maggiore della visibilità del dettaglio; come anche è stato omesso il tentativo della sovrapposizione alla lastra di una nuova emulsione, che riuscita a dovere, avrebbe potuto ricevere una nuova impressione del reticolo; e con un secondo sviluppo sarebbe stata ottenuta simultaneamente la vista del reticolato e della cometa.

Ma veniamo all'esame delle particolarità fotografiche.

Tra i vari disegnatori e fotografi di questa cometa, nessuno che io mi sappia ha segnalato nell'aspetto visuale, o fotografico quel dettaglio di getti che risulta dall'ingrandimento: una emanazione cioè

emergente dal nucleo d'aspetto filiforme a getti sottilissimi, e incurvati leggermente verso l'asse della coda.

Esempio di tale struttura può ricercarsi nella conformazione della sfumatura della corona solare negli eclissi totali.

L'eclisse totale, osservato da me e dal Prof. D. Francesco Faccin a Palma di Majorca, il dì 30 agosto 1905, presentava nella sommità della corona candidissimi filamenti a guisa di capigliatura, ben delineata nella fotografia ivi ritratta dal Prof. Lochyer capo della spedizione astronomica inglese.

E qui è da notare che la selva filiforme dei getti della cometa non era percettibile a vista, nè anche col collimatore dell'equatoriale; ma si rivelò soltanto all'ingrandimento fotografico dell'originale.

Questa particolarità fotografabile nelle grandiose future comete potrebbe essere utilizzata alla ricerca di cambiamenti intestini, quante volte si riproducessero in prove fotografiche successive.

Un cambiamento di posizione dei getti, quale potrebbe essere se i filamenti stessi comparissero e scomparissero alternativamente, potrebbero dare indizio di un moto di rotazione del nucleo intorno a se stesso.

Parrebbe che il P. Secchi nella cometa del 1862 si avvedesse di un fatto del genere, scrivendo egli che « un getto luminoso della coda si formava quando un precedente spariva, e quando questo estinguevasi, il primo riappariva a suo turno » [1].

Il fatto che i filamenti dei quali è composta la coda si ripiegano dalla opposta parte del sole, qualunque sia nelle sue vicinanze il moto diretto o retrogrado delle comete, fu abbastanza bene interpretato come un effetto di ripulsione diamagnetica esercitata dal sole sui getti gassosi dell'emanazione del nucleo.

Questa teoria ammessa da tutti gli astronomi, è stata resa abbastanza intelligibile già dal Chacornac, il quale facendo assegnamento nel sole di questa forza ripulsiva e direttiva insieme, la pose in relazione di contrasto con la forza di proiezione dei getti del nucleo, e dal conflitto di queste forze ne dedusse che l'emissione diretta contro il sole è vinta dalla ripulsiva solare, e obbligata a indietreggiare, mentre l'opposta è secondata dal sole, perchè le due forze sono da quella parte cospiranti.

[1] *Soleil*, Seconde Partie pag. 409. Deuxième édition 1877.

Tale raziocinio basato sull'equilibrio di forze non è distrutto dal concetto dell'attrazione universale, che si esercita dalla preponderante massa del sole sulla inferiore massa della cometa; come la natura diamagnetica del sole non ha che vedere con la gravitazione uni versale.

La repulsione e l'eccitazione elettrica del sole è tanto penetrata nella mente degli astronomi, che dal Flammarion fu perfino applicata alle comete del 1843 e del 1882, come una interpretazione dell'enorme sviluppo delle code (80 milioni di leghe per quella del 1843, 25 milioni per quella del 1882), e della vertiginosa velocità loro intorno al perielio (550 chilom. a secondo per quella del 1843, e 560 chilom. per quella del 1882) [1].

Resta soltanto a indagare l'origine della forza di espansione gassosa del nucleo; e questa la troveremo nell'energia ultrapotente del calore solare [2] che fonde e decompone la materia cometale; e i gas liberati dalle loro affinità, si getteranno con impeto in ogni direzione, provocando l'espansione.

Abbiamo ragione di ciò credere dall'osservare che la coda delle comete è tanto più protratta, quanto più prossima al sole, e tanto più corta, quanto più remota; mentre le comete che si trovano a grande distanza dal sole sono sprovviste di coda.

Un'azione elettrica o magnetica può essere anche esercitata dallo stesso nucleo, ma in una misura proporzionale, e questa agirebbe nelle parvenze luminose delle comete a distanza.

Al P. Secchi è piaciuto anche di accennare ad una vibrazione molecolare per rendersi ragione della loro luminosità; e ciò fece nel volume intitolato: *Le stelle,* edito nel 1877, così dicendo: « La loro luce « non è solo la riflessa del sole, ma anche la diretta e lor propria. « Nè è mestieri a produrre tal luce una proporzionale incandescenza « o elevazione di temperatura, che le porti alla roventezza, ma basta « una tale struttura delle molecole, che le renda capaci di scuoter « l'etere in certe onde, come noi vediamo accadere nei più freddi « insetti terrestri, e nei marini animalcoli, e in mille altri casi di fosfo-

[1] *Revue d'Astronomie Populaire,* Juin et Novembre 1882.

[2] Newton calcolò che la cometa del 1680 per vicinanza al sole doveva raggiungere un grado elevatissimo di temperatura, 2 mila volte quello del ferro rovente e 28 mila quella che la terra riceve dal sole.

« rescenze comuni avvivarsi la luce per tenuissima forza eccitante « senza proporzionata elevazione di temperatura ».

Ed anche al presente l'attuale astronomo spettroscopista dell'Osservatorio di Meudon, scrivendo sulla recente cometa Daniel è d'avviso, che le zone spettroscopiche luminose della coda possono rappresentare un moto vibratorio speciale dei gas idrogenati, od ossigenati, o dipendere da altri gas.

Maggiore interesse presentano sulla cometa Daniel le analisi dei costitutivi della coda, ricavate da osservazioni spettroscopiche del Prof. Deslandres.

È noto che la spettrofotografia degli astri deboli richiede obiettivi assai luminosi, e a corto foco per la diminuzione che subisce la luce dell'astro nel passaggio per la fessura dello spettrografo.

I grandi telescopi che hanno foco molto allungato tramandano poca luce per le comete già in sè deboli.

Per le stelle che sono punti luminosi, anche con grandi telescopi possono aversi delle spettrofotografie quando sono muniti di prisma obbiettivo che dispensa dalla fessura; e il rifrattore fotografico vaticano, che è provvisto di un eccellente prisma obbiettivo dei fratelli Henry, è in grado di fornirle con il metodo da me indicato nel 1° vol. delle Pubblicazioni della Specola Vaticana a pagg. 51 e seguenti; però il caso non era applicabile alla cometa.

Così i signori Deslandres e Bernard a Parigi impiegarono invece due camere fotografiche a prisma, che montarono sopra un equatoriale, con la caratteristica disposizione dello spigolo del prisma in direzione parallela alla coda della cometa, e con la disposizione dei fili micrometrici del collimatore in uguale disposizione [1].

La storia degli spettri cometari ha principio dal P. Secchi, il quale, nella 2ª cometa del 1860, notò lo spettro formato dalla coda con tre zone luminose, dai colori blu, verde, e arancio, separato da lacune, con predominio in esso della zona verde,in altre della zona blu.

Egli non si limitò solo a questa descrizione, ma affrontò anche la ricerca della provenienza di queste zone, ponendole a confronto con spettri artificiali di gas terrestri resi luminosi, e da quel confronto si assicurò che i gas cometari erano combinazioni del carbonio coll'idrogeno, o coll'ossigeno.

[1] Comptes Rendus, Tom. CXLIV, N. 96, 26 Août 1907.

Più tardi poi l'Huggins scoprì nello spettro della cometa del 1881 anche il cianogene, che poi rinvennero anche i Prof. Campebell e Kayser nella cometa del 1893.

I risultati ottenuti dal Deslandres e Bernard col metodo descritto per la spettrofotografia della coda della cometa Daniel collimano con tutte le precedenti osservazioni, e manifestano nello spettro della cometa tre zone: blu, verde, e gialla, caratteristiche degli idrocarburi e dell'iconogeno, oltre ad altre debolissime zone non identificate. Una novità scoperta da loro è la singolare limitazione delle zone debolissime da una parte soltanto della coda, da quella cioè che non distava oltre a 45 minuti primi d'arco dal nucleo.

Concludiamo questa nota con la teoria chimica cometale che a suo tempo diè il celebre chimico Berthelot quando nella composizione chimica delle comete si trova la presenza dell'idrogeno, dell'azoto e dell'acido cianidrico.

L'acetilene (egli osserva) si produce ogni qual volta gli elementi carbone e idrogeno si trovano in presenza sotto l'influsso dall'arco elettrico. Se vi si aggiunge l'azoto si forma l'acido cianidrico, la cui formazione elettrica costituisce probabilmente il carattere chimico dell'azoto, più pronto a manifestarsi. Non è possibile (egli dice) di concepire una combustione continua delle materie cometali, mentre un'illuminazione elettrica è più facile a comprendersi ([1]).

L'invocazione elettrica soddisfa alla chimica delle comete, come soddisfa alle vibrazioni luminose. Il problema però della costituzione della materia di queste parvenze è ancora oscuro, e mancano molti dati di fatto. Lasciamo pure alla scienza sperimentale il compito che ha d'investigare la natura delle cose con tutti quei mezzi che sono a disposizione, ma in pari tempo ricordiamo l'impossibilità di giungere a conoscere tutti i segreti della natura, memori di quel detto scritturale: *Cuncta fecit bona in tempore suo et mundum tradidit disputationi hominum, ut non inveniat homo opus quod operatus est Deus ab initio usque ad finem* (Ecc. c. III, v. 11).

([1]) *Revue d'Astronomie Populaire*, Juillet 1882, p. 182.

RECHERCHES

SUR LES GROUPES RÉSOLUBLES

PAR

M. CAMILLE JORDAN

§ I.

1. Un groupe G d'opérations $S_1, S_2, \ldots$ est dit *résoluble*, si en formant son *commutant* G′ (groupe dérivé des opérations $S_i^{-1} S_k^{-1} S_i S_k$), puis le commutant G″ de G′ etc., on arrive finalement à un groupe *abélien* (dont les opérations sont échangeables).

Parmi les sous-groupes d'un groupe donné, qui jouissent d'une propriété déterminée, il en est qui ne sont contenus dans aucun autre; il en est aussi qui n'en contiennent aucun autre; les premiers seront dits *maxima* et les derniers *minima*.

Soit $\Gamma(N)$ le groupe des N! permutations entre N lettres. La recherche des types d'équations résolubles par radicaux revient à la question suivante:

Problème (N): *Construire tous les groupes résolubles et maxima contenus dans* $\Gamma(N)$.

Considérons en second lieu le groupe $\Gamma(p, n, \Phi)$ des substitutions linéaires à n variables

$$| \; x_k \quad \Sigma a_{kl} x_l \; | \bmod p \quad (p \text{ premier})$$

qui transforment en elle-même, à un facteur constant près, une forme

$$\Phi \bmod p$$

1° Quadratique en $x_1, \ldots, x_n$ et de discriminant $\gtrless 0 \bmod p$

2° Ou bilinéaire gauche par rapport aux deux systèmes de variables cogrédientes $x_1, \ldots, x_n$; $X_1, \ldots, X_n$, et de déterminant $\gtrless 0 \bmod p$

3° Ou enfin identiquement nulle.

On peut se poser la question suivante :

Problème (p, n, Φ) : *Construire tous les groupes résolubles, primaires* [1] *et maxima contenus dans* $\Gamma(p, n, \Phi)$.

Ces diverses questions sont intimement liées. Nous avons en effet établi autrefois une échelle de récurrence extrêmement rapide, permettant de ramener les uns aux autres, et par là de résoudre simultanément, les problèmes

$$(N) \quad , \quad (p, n, 0)$$
$$(p, 2n, \Phi) \quad p \text{ impair et } \Phi \text{ bilinéaire}$$
$$(2, 2n, \Phi) \qquad \Phi \text{ quadratique.}$$

La même méthode peut être appliquée à la résolution du problème (p, n, Φ) dans toute sa généralité. Nous allons à cet effet la reprendre brièvement. Ce nouvel exposé, sans différer essentiellement quant au fond de celui que nous avions donné jadis dans notre Traité des Substitutions [2], sera beaucoup plus simple et plus clair dans la forme.

§ II.

2. Soient G l'un des groupes cherchés, Φ sa forme invariante; si l'on opère un changement de variables linéaire, il seront changés en G', Φ'; mais les deux groupes G, G', ne différant que par la notation, ne doivent pas être regardés comme distincts.

Si Φ est bilinéaire, n sera un nombre pair $2m$, et par un choix convenable des variables, on ramènera Φ à la forme canonique

$$\sum_1^m (X_k y_k - x_k Y_k) \tag{1}$$

Si Φ est quadratique et n impair $= 2m + 1$, p sera nécessairement impair et l'on aura deux formes réduites distinctes

$$\sum_1^m x_k y_k + z^2 \tag{2}$$

---

[1] Un groupe de substitutions linéaires est dit *primaire*, si parmi les transformées d'une fonction linéaire quelconque $\varphi = \sum a_k x_k \bmod p$ par ses substitutions, figurent toujours n fonctions linéairement distinctes, de quelque façon que φ ait été choisie.

[2] Nous aurons à faire quelques renvois à cet ouvrage; nous le désignerons pour abréger par T. S.

et

(3) $$a\left[\sum_1^m x_k y_k + z^2\right] \quad , \quad (a \text{ non résidu de } p).$$

Mais toute substitution qui reproduit à un facteur près l'une de ces formes opère de même sur l'autre. On n'a donc qu'un seul type à considérer.

Si Φ est quadratique et n pair $= 2m$ on aura deux réduites distinctes :

La première est une somme de m rectangles

(4) $$\sum_1^m x_k y_k$$

La seconde sera, si p est impair

(5) $$x_1^2 - a y_1^2 + \sum_2^m x_k y_k \quad (a \text{ non résidu de } p)$$

et si $p = 2$

(6) $$x_1^2 + x_1 y_1 + y_1^2 + \sum_2^m x_k y_k .$$

A ces deux types de formes correspondent deux types distincts de groupes G.

3. Une substitution S de G est dite *propre* si elle n'altère pas Φ; *impropre*, si elle la multiplie par un facteur différent de l'unité. Ce facteur sera de la forme g^α, g désignant une racine primitive de p; et l'on dira que S *appartient à l'exposant* α.

Soient $\alpha, \beta, \ldots$ les exposants des diverses substitutions de G; d le plus grand commun diviseur de $p-1, \alpha, \beta, \ldots$; G résultera de la combinaison d'une substitution S d'exposant d avec le sous-groupe G_0 formé de ses substitutions propres; et l'on dira que G est d'exposant d.

Comme il contient nécessairement la substitution g (qui multiplie toutes les variables par g) laquelle est d'exposant 2, on aura $d = 1$ ou $d = 2$.

D'ailleurs G contient la substitution $g^{\frac{p-1}{2}}$ qui diffère de l'unité.

Si $\Phi = 0$, ou si $p = 2$, toutes les substitutions de G seront propres et il ne sera plus question d'exposants.

Lorsque un groupe G aura été construit, on devra déterminer son type et son exposant s'ils ne sont pas déjà connus.

§ III.

4. *Groupes semi-primaires:* Soit $G=(g, G_0)$ un groupe d'exposant 2 à n variables $x_1, \dots, x_n$; Φ sa fonction invariante. Soient G', g', G'_0, Φ' ce que deviennent G, g, G_0, Φ quand on y remplace les x par un nouveau système de variables x'. Le groupe Γ à $2n$ variables dérivé des substitutions

$$\begin{vmatrix} x_k & x'_k \\ x'_k & g x_k \end{vmatrix}, \quad G_0, \quad G'_0$$

sera résoluble et admettra la fonction invariante $g\Phi + \Phi'$.

Un groupe ainsi construit est dit *semi-primaire*. Il est d'exposant 1; il appartient au premier type, sauf le cas où l'on aurait simultanément

$$n \text{ impair, et } p \equiv 1 \bmod 4$$

5. *Groupes décomposables.* Soit encore $G=(S, G_0)$ un groupe résoluble et maximum, d'exposant d, à n variables x, et à fonction invariante Φ.

Soient

$$x_1^i, \dots, x_n^i \quad (i = 1, 2, \dots, m)$$

m systèmes de variables analogues aux x; G^i, S^i, G_0^i, Φ^i ce que deviennent G, S, G_0, Φ quand on substitue les x^i aux x. Soit enfin Δ un groupe résoluble et maximum de permutations entre les m systèmes. Le groupe à mn variables dérivé des substitutions

$$\Delta, S^1 S^2 \dots S^m, G_0^1, \dots, G_0^m$$

sera résoluble et admettra la fonction invariante $\Sigma \Phi^i$.

Un pareil groupe est dit *décomposable*. Il est d'exposant d comme G, et du même type que G si m est impair: toujours du premier type si m est pair.

6. *Théorème: Un groupe* G *est semi-primaire ou décomposable, si les variables s'y partagent en systèmes* $\Sigma_1, \dots, \Sigma_m$ *tels*

1° *Que toute substitution de* G *remplace les variables de chaque système par des fonctions linéaires des variables d'un même système:*

2° *Que Φ soit une somme de formes partielles $\Phi_1, \ldots, \Phi_m$ ne contenant chacune que les variables d'un seul système.*

Si G est d'exposant d, il résultera de la combinaison d'une substitution T d'exposant d, avec les substitutions $T', \ldots.$ de G_0. Ses substitutions seront de la forme

$$T = D S_1^1 \ldots S_m^m, \quad T' = D' S_1'^1 \ldots S_m'^m, \ldots$$

$D, D', \ldots$ étant des substitutions qui permutent les systèmes en remplaçant chaque variable par sa correspondante, et $S_k^k, S_k'^k, \ldots$ des substitutions linéaires opérées sur les variables de Σ_k.

Désignons par $S_k^l, S_k'^l, \ldots$ des substitutions pareilles à celle-là, opérées sur les variables correspondantes d'un autre système Σ_l.

7. 1° Supposons en premier lieu que les substitutions de G_0 permutent les systèmes transitivement. On pourra choisir les variables dans chacun d'eux de telle sorte que dans l'une au moins des substitutions de G_0 qui remplacent Σ_1 par Σ_k, à chaque variable de Σ_1 succède sa correspondante de Σ_k. Mais cette substitution doit transformer Φ_1 en Φ_k. On voit par là que toutes les formes $\Phi_1, \ldots, \Phi_m$ seront pareilles.

Considérons d'autre part le groupe Γ formé par celles des substitutions de G qui ne déplacent pas Σ_1. Il est résoluble et ses substitutions sont de la forme $S_1 U$, S_1 étant opérée entre les variables de Σ_1, et U étant opérée sur les autres variables. Les substitutions partielles S_1 forment un groupe G^1 isomorphe à Γ et par suite résoluble. On voit sans difficulté qu'il contient toutes les substitutions $S_k^1, S_k'^1, \ldots$ et résulte de la substitution S_1^1, qui multiplie Φ_1 par g^d, combinée avec d'autres substitutions qui ne l'altèrent plus. Celles-ci forment un groupe G_0^1.

Enfin le groupe Δ, dérivé des permutations $D, D', \ldots$, isomorphe à G, est également résoluble. Le groupe dérivé de

$$\Delta, G^1, \ldots, G^m$$

(G^k étant un groupe semblable à G^1, mais opérant sur les variables de Σ_k) le sera également. D'ailleurs il contient G. Ce dernier groupe étant maximum est formé de toutes celles des substitutions du précédent qui reproduisent Φ à un facteur près, à savoir les suivantes

$$\Delta, S_1^1 \ldots S_1^m, G_0^1, \ldots, G_0^m.$$

Il sera donc décomposable.

8. 2° Supposons en second lieu que G_o ne permute pas les systèmes transitivement. Groupons en un même hypersystème ceux qu'il permute entre eux. Le groupe (g, G_o), qui contient la moitié au moins des substitutions de G, ne déplace pas les hypersystèmes. Ceux-ci sont donc au nombre de deux, H_1 et H_2, et G, qui est primaire, résultera de la combinaison d'une substitution S d'exposant 1, qui les échange, avec celles de (g, G_0). Si l'on choisit les variables indépendantes de telle sorte que S remplace chaque variable de H_1 par sa correspondante de H_2, Φ aura pour expression $g\Phi_1 + \Phi_2$, Φ_1 et Φ_2 étant deux formes pareilles, contenant respectivement les variables de H_1 et de H_2. Achevant le raisonnement comme tout à l'heure, on voit que G sera semi-primaire.

§ IV.

9. Soit G un groupe primaire et indécomposable. Formons les commutants successifs de G_o; nous arriverons à un dernier groupe jouissant des propriétés suivantes:

1° Il est abélien. 2° Ses substitutions sont propres. 3° C'est un sous-groupe invariant dans G.

Soit F_0 un groupe maximum parmi ceux qui jouissent de ces propriétés. Nous l'appellerons le *premier faisceau* de G.

10. *Théorème: F_0 ne contient aucune substitution d'ordre p.*

Supposons en effet qu'il en contînt quelques unes, $S_1, S_2, \ldots$ Le groupe $(S_1, S_2, \ldots)$ serait invariant dans G. Considérons d'ailleurs les fonctions linéaires $\sum_1^n a_k x_k$. Elles sont en nombre $p^n - 1$ (en ne tenant pas compte de celle qui est identiquement nulle).

Si l'une d'elles est altérée par S_1, elle fera partie d'un système de p fonctions que S_1 permute circulairement; mais $p^n - 1$ n'est pas multiple de p; il existe donc des fonctions inaltérées. Si parmi celles-ci il en existe m linéairement distinctes $\varphi_1, \ldots, \varphi_m$, les $p^m - 1$ fonctions linéaires de $\varphi_1, \ldots, \varphi_m$ représenteront l'ensemble des fonctions inaltérées.

La substitution S_2 étant échangeable à S_1 permutera exclusivement entre elles ces $p^m - 1$ fonctions; elle en laissera quelques unes inaltérées; etc. Continuant ainsi, on voit qu'il existe des fonctions

qu'aucune des substitutions $(S_1, S_2, \ldots)$ n'altère; les substitutions de G, permutables à ce groupe, les permuteront exclusivement entre elles. Donc G ne sera pas primaire.

11. *Théorème: Les substitutions* $S_1, S_2, \ldots$ *de* F_0 *peuvent être ramenées simultanément à la forme monome.*

Ramenons en effet S_1 à sa forme canonique. L'ordre de S_1 étant premier à p, cette forme canonique sera monome [1]. Groupons dans une même classe celles des nouvelles variables que S_1 multiplie par le même facteur. S_2 étant échangeable à S_1 sera un produit de substitutions partielles opérées sur les variables de ces diverses classes; et par un nouveau changement de variables on pourra, sans altérer la forme déjà acquise par S_1, ramener chacune de ces substitutions partielles, et par suite S_2, à une forme canonique monome. On opérera de même pour S_3, etc.

12. La réduction précédente étant achevée, groupons dans une même série les variables dont le multiplicateur est le même dans chacune des substitutions $S_1, S_2, \ldots$ Soit s_0 l'une de ces séries, contenant μ variables $x_{10}, \ldots x_{\mu 0}$ et soient $a_1, a_2, \ldots$ les facteurs qui les multiplient dans les substitutions $S_1, S_2, \ldots$ Ces facteurs sont les racines de certaines congruences dont la résolution aura pu réclamer l'introduction d'imaginaires de Galois. Mais dans tous les cas on pourra déterminer un nombre ν tel qu'en désignant par i une racine primitive de la congruence

$$i^{p^\nu - 1} \equiv 1 \bmod p$$

$a_1, a_2, \ldots$ soient des puissances de i.

Les variables x_{k0} seront de la forme

$$x_{k0} = Z_{k0} + Z_{k1} i + \ldots + Z_{k,\nu-1} i^{\nu-1}$$

les Z étant des variables réelles; et si l'on remplace dans ces expressions i par une de ses conjuguées i^{p^r}, on obtiendra de nouvelles variables complexes x_{kr} formant une série s_r conjuguée de s_0 et dont les multiplicateurs seront $a_1^{p^r}, a_2^{p^r}, \ldots$

Enfin, s'il existe une forme invariante Φ (non nulle), à chaque série $s_0 = (x_{10}, \ldots, x_{\mu 0})$ doit être associée une série $t_0 = (y_{10}, \ldots, y_{\mu 0})$

---

[1] T. S. N° 154.

ayant pour multiplicateurs $a_1^{-1}, a_2^{-1}, \ldots$; et les variables de s_0 et de t_0 ne paraîtront dans Φ que dans les termes en $x_{k_0}\, y_{l_0}$ si Φ est quadratique, ou dans les termes en $X_{k_0}\, y_{l_0} - x_{l_0}\, Y_{k_0}$ si Φ est bilinéaire.

Les séries s_r conjuguées de s_0 auront pour associées les séries t_r conjuguées de t_0.

Cela posé, groupons dans un même système toutes les séries s_r, t_r conjuguées ou associées. Le groupe G étant permutable à F_0, chacune de ses substitutions devra remplacer les variables d'une même série par des fonctions linéaires des variables d'une même série, et celles d'un même système par des fonctions linéaires des variables d'un même système. Et cette dernière propriété subsistera si l'on se débarrasse des imaginaires en prenant pour variables indépendantes dans chaque système au lieu des variables complexes actuelles, les variables réelles dont elles dépendent. Enfin après cette transformation Φ continuera à être une somme de formes partielles ne contenant chacune que les variables d'un seul système.

Il n'existe donc qu'un seul système: car s'il y en avait plusieurs G serait semi-primaire ou décomposable.

§ V.

13. La connaissance du faisceau F_0 lorque elle sera complète, donnera une première indication sur la nature de la fonction Φ (celle-ci devant rester invariable par ses substitutions) et sur celle du groupe G. Car celui-ci doit être contenu dans le groupe K formé par toutes les substitutions linéaires permutables à F_0, et même dans le groupe K (Φ) formé par celles des substitutions de K qui reproduisent Φ à un facteur près.

Divers cas sont ici à distinguer

14. *Premier cas.* — Il n'y a pas de forme invariante. — On aura $\mu\nu$ variables x_{kr} réparties en ν séries conjuguées $s_0, \ldots, s_{\nu-1}$

Les substitutions de F_0 multiplient les variables de s_0 par des puissances $i^\alpha, i^\beta, \ldots$ de i, racine primitive de la congruence

$$i^{p^\nu - 1} \equiv 1 \bmod p$$

Soit δ le plus grand commun diviseur de $p^\nu - 1, \alpha, \beta, \ldots$; F_0 sera formé des puissances de la substitution

$$| \; x_{kr} \quad i^{\delta p^r} x_{kr} \; |$$

Le groupe K est dérivé de la combinaison de la substitution

$$P = | \; x_{kr} \quad x_{k, r+1} \; |$$

qui permute circulairement les séries, et de substitutions qui ne les déplacent plus. Celles-ci auront pour forme générale

$$Q = | \; x_{kr} \quad \sum_l a_{kl}^{p^r} x_{lr} \; |$$

où les a_{kl} sont des entiers complexes formés avec i.

Le groupe dérivé des puissances de la substitution d'ordre $p^\nu - 1$

$$f = | \; x_{kr} \quad i^{p^r} x_{kr} \; |$$

est un sous groupe invariant de K et il est abélien. Il est donc contenu dans tout groupe G résoluble et maximum contenu dans K. Il se confond donc avec F_0, et $\delta = 1$.

Si $\mu = 1$, les substitutions Q se réduisent aux puissances de f et G se confond avec K, qui est résoluble.

Si $\mu > 1$, G sera un sous-groupe de K. Ses substitutions seront de la forme générale $P^\beta Q$ et dériveront évidemment de la combinaison de l'une d'elles

$$P^\delta Q_1$$

(δ étant le plus grand commun diviseur des nombres β et de ν) avec des substitutions de la forme Q.

15. *Deuxième cas* — La forme Φ n'est pas nulle, et chaque série doit avoir une associée: trois hypothèses seront possibles.

Groupes de première catégorie: On a ν séries conjuguées $s_0, \ldots, s_{\nu-1}$ de μ variables chacune, et ν séries conjuguées, $t_0 \ldots, t_{\nu-1}$ distinctes des précédentes, auxquelles elles sont associées: On a par suite deux systèmes de $\mu\nu$ variables, x_{kr} et y_{kr}.

F_0 est formé des puissances d'une substitution

$$| \; x_{kr}, y_{kr} \quad i^{\delta p^r} x_{kr}, \; i^{-\ \ p} \; y_{kr} \; | \qquad (i^{p^\nu - 1} \equiv 1 \bmod p);$$

Φ sera de la forme

$$\Phi_0 + \Phi_1 + \cdots + \Phi_{\nu-1}$$

$\Phi_0, \ldots, \Phi_{\nu-1}$ étant des fonctions conjuguées dont la première a la forme

$$\sum_{k,l} a_{kl} (X_{k0} y_{l0} - x_{l0} Y_{k0})$$

si Φ est bilinéaire,

$$\sum_{k,l} a_{kl} x_{k0} y_{l0}$$

si Φ est quadratique.

Mais par un choix convenable des variables y, nous la réduirons à la forme canonique

$$\sum_k (X_{k0} y_{k0} - x_{k0} Y_{k0}) \qquad (\Phi \text{ bilinéaire})$$

$$\sum_k x_{k0} y_{k0} \qquad (\Phi \text{ quadratique}).$$

Si Φ est quadratique elle appartient manifestement au premier type.

Le groupe $\mathbf{K}(\Phi)$ dérive des substitutions

$$\mathrm{R} = | x_{kr}, y_{kr} \quad y_{kr}, (-1)^\tau x_{kr} |$$

(τ étant égal à 0 ou à 1 suivant que Φ est quadratique ou bilinéaire)

$$\mathrm{P} = | x_{kr}, y_{kr} \quad x_{k,r+1}, y_{k,r+1} |$$

$$\mathrm{S} = | x_{kr}, y_{kr} \quad x_{kr}, g y_{kr} |$$

et de substitutions propres ne déplaçant plus les séries et ayant pour forme générale

$$\mathrm{Q} = \left| \begin{matrix} x_{kr} & \sum a_{kl}^{p^r} x_{lr} \\ y_{kr} & \sum b_{kl}^{p^r} y_{lr} \end{matrix} \right|$$

les a_{kl} étant des entiers complexes arbitraires et les b_{kl} étant déterminés de telle sorte que les deux substitutions partielles opérées sur les x et les y soient adjointes l'une de l'autre.

Le groupe $\mathbf{K}(\Phi)$ admet le sous-groupe invariant F dérivé de S et de la substitution

$$f = | x_{kr}, y_{kr} \quad i^{p^r} x_{kr}, i^{-p^r} y_{kr} |$$

lequel est abélien et par suite appartiendra à G. On voit par là 1° que

G est d'exposant 1, 2° que $\delta = 1$ et que F_0 est formé des puissances de f.

Si $\mu = 1$, les substitutions Q se réduisent à celles de F_0, et G se confond avec K (Φ) qui est résoluble.

Si $\mu > 1$, G sera un sous-groupe de K (Φ). Il dérive de la combinaison de S avec le groupe G_0 dont les substitutions sont de la forme

$$R^\alpha P^\beta Q.$$

Pour que G soit primaire il faut que dans l'une au moins de ces substitutions α ne soit pas nul.

Si G_0 contient une substitution de la forme R Q, telle que $R Q_1$, il s'obtiendra en la combinant avec des substitutions de la forme $P^\beta Q$. Celles-ci résulteront elles-mêmes de la combinaison de l'une d'elles $P^\delta Q_2$, (où δ divise ν), avec des substitutions de l'espèce Q.

Si G_0 ne contient pas de substitutions de la forme R Q, il en contiendra de la forme $R P^\beta Q$. Soit $R P^\delta Q$, l'une de celles où l'exposant de P est minimum; G_0 résultera de la combinaison de cette substitution avec des substitutions de la forme $P^\beta Q$. En combinant celles-ci avec les puissances de $(R P^\delta Q_1)^2$, qui est de la forme $P^{2\delta} Q$, on peut rendre les nombres β moindres que 2δ. Mais s'il existait une substitution $P^\beta Q$ où β fût $< 2\delta$ sans être nul, ses puissances, combinées avec $R P^\delta Q$, donneraient une substitution $R P^{\delta'} Q$ où δ' serait $< \delta$.

Donc les β sont tous nuls, et G_0 résultera de la combinaison de $R P^\delta Q$, avec des substitutions Q.

16. *Groupes de deuxième catégorie:* Il n'existe qu'un système de séries conjuguées $s_0, s_1, \ldots,$ contenant chacun μ variables, et associées deux à deux. Ces séries seront en nombre pair 2ν; s_0 sera associée à s_ν et généralement s_r le sera à $s_{r+\nu}$.

F_0 sera formé des puissances d'une substitution de la forme

$$| x_{kr} \quad i^{\delta p^r} x_{kr} |$$

i étant une racine primitive de la congruence

$$i^{p^{2\nu}-1} \equiv 1 \bmod p.$$

D'ailleurs i^δ et $i^{\delta p^\nu}$ devant être réciproques, δ devra être un multiple de $p^\nu - 1$.

Φ sera la somme de ν formes conjuguées

$$\Phi_{0,\nu} + \Phi_{1,\nu+1} + \cdots + \Phi_{\nu-1, 2\nu-1}$$

dont la première ne contient que les variables des séries s_0, s_ν, et qui doivent se permuter circulairement par le changement de i en i^p. Donc celui de i en i^{p^ν} ne doit pas altérer $\Phi_{0\nu}$.

Si Φ est bilinéaire, $\Phi_{0\nu}$ sera de la forme

$$\Phi_{0\nu} = \sum_{k,l} a_{kl} (X_{k0} x_{l\nu} - X_{l\nu} x_{k0})$$

et pour que le changement de i en i^{p^ν} ne l'altère pas, il faudra qu'on ait.

$$a_{kl} \equiv -(a_{lk})^{p^\nu} \bmod p.$$

Par un changement de variables, de la forme

$$\left| \; x_{kr} \quad \sum_l c_{kl}^{p^r} x_{lr} \; \right|$$

on pourra la réduire aisément à la forme canonique

$$\Phi_{0\nu} = i^{\frac{\pi^\nu+1}{2}} \sum_k (X_{k0} x_{k\nu} - X_{k\nu} x_{k0}).$$

Si Φ est quadratique, on aura

$$\Phi_{0\nu} = \sum_{k,l} a_{kl} x_{k0} x_{l\nu}, \quad a_{kl} = (a_{lk})^{p^\nu}$$

et cette expression pourra se réduire à la forme canonique.

$$\Phi_{0\nu} = \sum x_{k0} x_{k\nu}.$$

La forme Φ aura alors pour expression

$$\sum_k \sum_r x_{kr} x_{k,\nu+r}$$

et sera du premier ou du second type suivant que μ sera pair ou impair.

17. Il suffit pour l'établir de montrer que chacune des formes partielles

$$\Phi_k = \sum_r x_{kr} x_{k,\nu+r} \equiv \sum_r x_{k0}^{(p^\nu+1)p^r} \bmod p$$

est du second type. Cherchons à cet effet le nombre des solutions de la congruence

$$\Phi_k \equiv 1 \bmod p.$$

On peut la remplacer par le système des deux suivantes.

$$x^{p^\nu+1} \equiv z \bmod p$$
$$\sum z^{p^r} \equiv 1 \bmod p.$$

Mais $z^{p^\nu-1} \equiv 1$. On pourra donc écrire

$$z = Z_0 + jZ_1 + \cdots + j^{\nu-1} Z_{\nu-1}$$

les Z étant des entiers réels, et j une racine primitive de

$$j^{p^\nu-1} \equiv 1 \bmod p.$$

Notre seconde congruence deviendra

$$s_0 Z_0 + s_1 Z_1 + \ldots + s_{\nu-1} Z_{\nu-1} \equiv 1$$

s_k désignant la somme des puissances k des racines de la congruence irréductible dont j dépend. Les s_k ne peuvent être tous nuls; notre congruence aura donc $p^{\nu-1}$ solutions. A chacune d'elles correspondent $p^\nu + 1$ valeurs de x_{k0}. Le nombre des solutions cherchées sera donc $p^{2\nu-1} + p^{\nu-1}$. Or pour une forme du premier type, il serait égal à $p^{2\nu-1} - p^{\nu-1}$.

18. Le groupe K (Φ) sera dérivé des substitutions suivantes:

$$P = | \; x_{kr} \quad a^{p^r} x_{k,r+1} \; |$$

où le coefficient a est égal à $i^{\frac{p-1}{2}}$ où à 1, suivant que Φ est bilinéaire ou quadratique. Cette substitution est propre;

Et de substitutions de la forme générale

$$Q = \left| \; x_{kr} \quad \sum_l a_{kl}^{p^r} x_{lr} \; \right|$$

les coefficients a_{kl} satisfaisant à certaines conditions qu'il est inutile d'écrire.

Parmi ces substitutions figure la suivante:

$$S = \left| \; x_{kr} \quad i^{\frac{p^\nu-1}{p-1} p^r} x_{kr} \right|$$

laquelle multiplie Φ par g. Toutes les substitutions de K (Φ) étant permutables au groupe abélien F formé par ses puissances, G contiendra nécessairement la substitution S. Il sera donc d'exposant 1 et contiendra la substitution propre

$$f = S^{p-1} = | \; x_{kr} \; i^{p^\nu-1} x_{kr} \; |$$

d'ordre $p^\nu + 1$, dont les puissances constitueront F_0.

Si $\mu = 1$, les substitutions Q se réduiront aux puissances de S; et le groupe $K(\Phi) = (P, S)$ sera résoluble. On aura donc $G = (P, S)$

Si $\mu > 1$, G sera un sous-groupe de $K(\Phi)$ et résultera de la combinaison de S avec une substitution

$$P^\delta Q_1$$

où δ divise 2ν, et des substitutions de l'espèce Q.

19. *Groupes de troisième catégorie*: Il n'existe qu'une seule série, associée à elle-même.

F_0 se réduira aux puissances de la substitution

$$f = | x_k \quad -x_k |$$

qui est d'ordre 2.

D'ailleurs p sera impair, car autrement le faisceau F_0 se réduirait à la seule substitution 1, ce qui est inadmissible. Le groupe K contient toutes les substitutions linéaires. La forme Φ reste indéterminée et on peut la supposer réduite à l'une des formes canoniques (1), (2), (4), (5). Enfin G contiendra le groupe F formé des substitutions qui multiplient toutes les variables par un même facteur.

Si $\mu = 1$, il n'y a qu'une seule variable x, Φ sera nécessairement quadratique et de la forme $a x^2$; G se réduira à F et sera d'exposant 2.

Si $\mu > 1$, G sera un sous-groupe de $K(\Phi)$ et s'il est d'exposant d, il résultera de la combinaison d'une substitution S d'exposant d, avec des substitutions propres, que nous désignerons par Q.

20. Comme résultat de cette discussion nous pouvons énoncer la proposition suivante:

Le faisceau F_0 est formé des puissances d'une seule substitution f, dont l'ordre ω est égal suivant les cas à $p^\nu - 1$, $p^\nu + 1$, 2.

Une substitution du groupe K est complètement définie (sauf dans le cas de la première catégorie), lorsque on connaît les fonctions par lesquelles elle remplace les variables de la première série; car aux variables conjuguées doivent succéder des fonctions conjuguées.

Il en est encore de même dans le cas des groupes de la première catégorie, si l'on ne considère que les substitutions de l'espèce Q: car la substitution à opérer sur les variables y étant l'adjointe de celle effectuée sur les x, est définie par cette dernière.

Nous pourrons donc, pour abréger l'écriture, indiquer seulement pour chacune de ces substitutions, la partie de l'opération relative

aux variables de la première série. Nous pourrons même à l'occasion supprimer l'indice zéro qui caractérise cette série.

Nous admettrons enfin que le nombre μ des variables de chaque série est > 1; car si $\mu = 1$, la construction du groupe G est déjà achevée.

§ VI.

21. *Théorème: Le groupe* G *contient nécessairement des substitutions de l'espèce* Q , *autres que celles de* F_0.

En effet, considérons par exemple un groupe G de première catégorie dérivé des substitutions

$$RQ_1 \ , \ P^\delta Q_2 \ , \ F$$

et ne contenant aucune substitution Q, autre que celles de F_0. La substitution $(RQ_1)^2$ étant de l'espèce Q appartiendrait à F_0 et serait une puissance de f.

On vérifie aisément que pour qu'il en soit ainsi, il est nécessaire et suffisant que dans l'expression de la substitution Q_1

$$Q_1 = \left| \ x_k \ \sum_l a_{kl}\, x_l \ \right|$$

le déterminant D des coefficients a_{kl} soit symétrique ou gauche.

Le groupe, supposé maximum, ne cesserait pas de l'être et d'admettre Φ comme forme invariante, si on le transformait par une substitution quelconque de l'espèce Q. Or on vérifie facilement que par cette transformation, les coefficients a_{kl} subissent la même altération qu'éprouveraient ceux de la forme quadratique

$$\sum a_{kl}\, x_k\, x_l$$

si D est symétrique, ou ceux de la forme bilinéaire gauche

$$\sum a_{kl}\,(X_k\, x_l - x_k\, X_l)$$

si D est gauche.

Or toute fonction bilinéaire gauche peut être ramenée à la forme

$$\sum_0^{\frac{\mu}{2}-1} (X_{2k+1}\, x_{2k+2} - x_{2k+1}\, X_{2k+2})$$

et toute fonction quadratique, si p est impair, à la forme

$$ax_1^2 + x_2^2 + \ldots + x_\mu^2$$

et si $p = 2$ à la forme

$$\sum_0^{m-1} x_{2k+1}\, x_{2k+2} + \sum_{2m+1}^{\mu} x_k^2 .$$

On pourra donc supposer que dans la substitution Q_1 les coefficients a_{kl} soient les mêmes que dans l'une des fonctions réduites ci-dessus.

Cette première réduction opérée, considérons la substitution $P^\delta Q_2$. Elle est permutable au groupe (RQ_1, F). Soit d'ailleurs O le nombre des substitutions Q' de l'espèce Q qui sont permutables à ce groupe. On obtiendrait de nouveaux groupes résolubles en combinant avec (RQ_1, F) au lieu de $P^\delta Q_2$ l'une quelconque des substitutions $P^\delta Q_2 . Q'$ qui lui sont permutables. Ces groupes seraient au nombre de $\frac{O}{\omega}$, car on obtiendrait le méme groupe en combinant à (RQ_1, F) la substitution $P^\delta Q_2 . Q'$ ou la substitution $P^\delta Q_2 . Q''$ si $Q''Q'^{-1}$ appartient à F_0.

Tous ces groupes seraient maxima. En effet en transformant G par les O substitutions Q', dont par hypothèse ω seulement lui sont permutables (à savoir celles de F_0), on devrait obtenir $\frac{O}{\omega}$ groupes transformés distincts, tous maxima.

Le groupe $(RQ_1, P^\delta Q_2, F)$ serait donc maximum, quelle que fût la substitution Q_2, sous la seule condition que $P^\delta Q_2$ fût permutable à (RQ_1, F).

Or il est facile de choisir Q_2 de telle sorte qu'il soit évident que ce groupe n'est pas maximum:

Si D est gauche, ou si $p = 2$, on pourra prendre $Q_2 = 1$, et l'on pourra adjoindre au groupe (RQ_1, P^δ, F) la substitution

$$| x_1 , x_2 , \ldots \quad x_2 , x_1 , \ldots |$$

qui lui est permutable.

Si D est symétrique et $p > 2$ on prendra

$$Q_2 = \left| x_1 , x_2 , \ldots \quad a^{\frac{1-r^\delta}{2}} x_1 , x_2 , \ldots \right|$$

et l'on pourra adjoindre au groupe

$$(RQ_1 , P^\delta Q_2 , F)$$

la substitution

$$| x_1 , x_2 , \ldots \quad -x_1 , x_2 , \ldots |$$

22. Si G était de première catégorie, mais dérivé des substitutions

$$(RP^{\delta}Q_1 , F)$$

on verrait de même que s'il était maximum, le groupe

$$(RP^{\delta} , F)$$

le serait également, résultat inadmissible, car toute substitution Q à coefficients réels lui est permutable.

Même démonstration si Φ était nul, ou G de deuxième catégorie.

23. Enfin si G était de troisième catégorie et de la forme

$$(S , F_0)$$

où S est une substitution d'exposant d, il faudrait pour qu'il fût maximum que tous les groupes analogues obtenus en remplaçant S par une autre substitution de même exposant le fussent aussi. Or si Φ est de l'une des formes (1) (4) on peut supposer

$$S = | x_1 , y_1 , \ldots \quad g^d x_1 , y_1 , \ldots |$$

Si Φ est de la forme (2) d sera égal à 2, car une substitution linéaire qui multiplierait par g une forme quadratique d'un nombre impair de variables altérerait le caractère quadratique de son discriminant, ce qui est impossible. On pourra donc prendre

$$S = | x_1 , y_1 , \ldots \quad g x_1 , g y_1 , \ldots |$$

Dans chacun des cas précédents toute substitution de la forme

$$| x_1 , y_1 , \ldots \quad a x_1 , a^{-1} y_1 , \ldots |$$

sera permutable à (S, F_0).

Si Φ est de la forme (5) on pourra supposer

$$S = | x , y , \ldots \quad \alpha x + \beta a y , \beta x + \alpha y , \ldots |$$

où

$$\alpha^2 - a\beta^2 = g^d$$

et toute substitution de même forme, où

$$\alpha^2 - a\beta^2 = 1$$

sera permutable à (S, F_o).

§ VII.

24. Soit H le groupe formé par celles des substitutions Q qui sont contenues dans G. Il contient F_o; mais nous venons de démontrer qu'il est plus général.

Formons ses commutants successifs; nous arriverons à un groupe jouissant des propriétés suivantes:

1° Il est contenu dans H, mais non dans F_o

2° Son commutant est contenu dans F_o

3° C'est un sous-groupe invariant de G.

Soit h un groupe minimum parmi ceux qui remplissent ces conditions. Ce sera un *second faisceau* de G. Il jouit des propriétés suivantes:

1° Soit S une de ses substitutions, qui n'appartienne pas à F_o; elle ne peut être échangeable à toutes les autres (car F_o ne serait pas maximum).

2° Les transformées de S par les substitutions de G reproduisent par leur combinaison tout le groupe h (autrement il ne serait pas minimum).

3° On peut choisir S de telle sorte que S^π appartienne à F_o, π étant un nombre premier. Soit alors T une autre substitution de h, non échangeable à S. La substitution $S^{-1} T^{-1} ST$ appartient à F_o et diffère de l'unité; mais sa puissance $\pi^{\text{ème}}$ est égale à l'unité, car T est échangeable à S^π. Donc π est un diviseur de ω, et $S^{-1} T^{-1} ST$ est une puissance de la substitution $\theta = f^{\frac{\omega}{\pi}}$ [1].

Nous appellerons *exposant d'échange* des substitutions S et T et nous désignerons par (ST) l'exposant de cette puissance.

---

[1] Dans ce qui suit nous désignerons indifféremment par θ, soit cette substitution $f^{\frac{\omega}{\pi}}$, soit le facteur, racine de la congruence $\theta^\pi \equiv 1 \bmod p$, par lequel elle multiplie les variables de la première série.

4° Soit λ l'ordre de S^π; ce sera aussi l'ordre de ses transformées $S_1^\pi, \ldots$ Ces substitutions appartiennent à F_0 et seront des puissances de la substitution $t = f^{\frac{\omega}{\lambda}}$, telles que $t^\alpha, t^{\alpha_1}, \ldots$ les exposants $\alpha_1, \alpha_2, \ldots$ étant premiers à λ. Supposons S_1 non échangeable à S et formons la substitution

$$S' = S^x S^y_1 .$$

On aura

$$S'^\pi = \theta^{(SS_1)\frac{\pi(\pi-1)}{2}} t^{\alpha x + \alpha_1 y}$$

Or on peut déterminer x, y de telle sorte que $\alpha x + \alpha_1 y$ soit divisible par λ, d'où

$$t^{\alpha x + \alpha_1 y} = 1 .$$

D'autre part $\theta^\pi = 1$. Si donc π est impair S'^π sera égal à 1. Si $\pi = 2$, S' sera égal à $\theta^{(SS_1)} = \pm 1$.

Donc S' et ses transformées et par suite toutes les substitutions de h, qui en dérivent, seront d'ordre π, si π est impair; d'ordre 2 ou 4 si $\pi = 2$.

Si T désigne l'une d'elles, on aura toujours

$$T^\pi = \theta^u$$

L'exposant u sera le *caractère* de la substitution T. Si π est impair il sera toujours nul; si $\pi = 2$, il pourra être égal à 0 ou à 1.

25. Soit A_1 une substitution de h qui n'appartienne pas à F_0; on pourra déterminer dans h une seconde substitution B_1 telle que $(A_1 B_1)$ soit égal à 1; h résultera de la combinaison de A_1, B_1 avec d'autres substitutions échangeables à A_1 et à B_1; parmi celles-ci, on déterminera un nouveau couple A_2, B_2 tel que $(A_2 B_2) = 1$; etc. On voit finalement que les substitutions de h seront en nombre $\pi^{2\sigma+1}$ et de la forme

$$\theta^\lambda A_1^{a_1} B_1^{b_1} \ldots A_\sigma^{a_\sigma} B_\sigma^{b_\sigma} .$$

Si $\pi = 2$, on pourra de plus choisir les substitutions fondamentales A et B de telle sorte qu'elles soient toutes de caractère zéro, sauf les deux premières A_1, B_1 qui auront un caractère commun u, lequel pourra être égal à 0 ou à 1.

En effet, si deux substitutions A_k, B_k d'un même couple ont des caractères différents, 0 pour A_k et 1 pour B_k par exemple, on pourra

prendre pour substitution fondamentale au lieu de B_k celle-ci $A_k B_k$ qui a pour caractère 0.

D'autre part, si l'on a deux couples de substitutions A_k, B_k, A_l, B_l ayant le caractère 1, on pourra leur substituer les nouvelles substitutions fondamentales

$$A_kA_l \ , \ B_kA_l \ , \ A_kB_kB_l \ , \ A_kB_kA_lB_l$$

qui ont le caractère 0.

26. Soit H' le groupe formé par celles des substitutions de G qui sont de l'espèce Q et échangeables à toutes les substitutions de h. Si nous supposons que H' ne soit pas contenu dans F_0, on pourra y déterminer de même un nouveau second faisceau h' dont les substitutions, en nombre $\pi'^{2\sigma'+1}$, seront de la forme

$$\theta'^{\lambda'} A'^{a'_1}_1 B'^{b'_1}_1 \ldots A'^{a'_{\sigma'}}_{\sigma'} B'^{b'_{\sigma'}}_{\sigma'}$$

π' étant un nombre premier (égal ou non à π) qui divise ω, et $A'_1, B'_1, \ldots$ des substitutions analogues à $A_1, B_1, \ldots$ et de caractère nul, à moins qu'on n'ait $\pi' = 2$, auquel cas A'_1, B'_1, auraient un caractère commun u', égal à 0 ou à 1.

Nous supposerons maintenant, pour ne pas trop développer les écritures, que G ne contienne aucune substitution de l'espèce Q (sauf celles de F_0) qui soit échangeable à toutes celles de h et de h'.

§ VIII.

27. Proposons-nous de ramener successivement à une forme canonique les substitutions des faisceaux h, h', en commençant par A_1.

1° Si $u = 0$, cette substitution est d'ordre π, et lorsque elle aura été mise sous forme canonique, chaque variable de la première série y sera multipliée par une puissance de θ, telle que θ^{ξ_1}. Réunissons dans une même classe, caractérisée par l'indice ξ_1, toutes les variables pour lesquelles est exposant est le même, un second indice k distinguant les variables de la même classe. On pourra écrire

$$A_1 = | \ [\xi_1 k] \quad \theta^{\xi_1} [\xi_1 k] \ |$$

La substitution B_1, transformant A_1 en θA_1, remplace les variables de chaque classe par des fonctions linéaires de celles de la classe

suivante: toutes les classes seront donc également nombreuses, et par un choix convenable des variables indépendantes, on pourra faire en sorte que B_1 fasse succéder à chaque variable sa correspondante et prenne ainsi la forme

$$B_1 = | [\xi_1 k] \quad [\xi_1 + 1 , k] |$$

2° Si $u = 1$, il y aura deux classes 0 et 1, dont A_1 multipliera les variables respectivement par $+j$ et $-j$, j étant une racine de la congruence

$$j^2 = -1 \bmod p .$$

On peut choisir les variables de telle sorte que B_1 remplace chaque variable $[0k]$ de la première classe par $(\alpha + \beta j)$ $[1\,k]$, α, β étant un système d'entiers réels satisfaisant à la congruence

$$\alpha^2 + \beta^2 = -1 \bmod p .$$

Mais $B_1^2 = -1$. Donc B_1 remplacera réciproquement $[1\,k]$ par $(\alpha - \beta j)$ $[0k]$.

Ces divers cas sont compris dans la formule générale suivante:

$$A_1 = | [\xi_1 k] \quad j^u \theta^{\xi_1} [\xi_1 k] |$$
$$B_1 = | [\xi_1 k] \quad (\alpha + \beta j^{1+2\xi_1})^u [\xi_1 + 1 , k] | .$$

28. Les substitutions suivantes, $A_2, B_2, \ldots$ étant échangeables à A_1, B_1 seront nécessairement de la forme

$$\Big| \; [\xi_1 k] \quad \sum_l a_{kl} [\xi_1 l] \; \Big| ,$$

les a étant indépendants de ξ_1, et devront être réduites par des substitutions de même forme. En remplaçant l'indice unique k par deux indices, dont le premier ξ_2 varie de 0 à $\pi - 1$, le second restant désigné par k, on pourra (A_2 et B_2 ayant le caractère zéro) les mettre sous la forme

$$A_2 = | [\xi_1 \xi_2 k] \quad \theta^{\xi_2} [\xi_1 \xi_2 k] |$$
$$B_2 = | [\xi_1 \xi_2 k] \quad [\xi_1 , \xi_2 + 1 , k] | .$$

Poursuivant ainsi, on voit: 1° que μ est un multiple de $\pi^\sigma \pi'^{\sigma'}$, tel que $\pi^\sigma \pi'^{\sigma'} \mu'$: 2° qu'en désignant les variables de la première série par

σ indices $\xi_1, \ldots, \xi_\sigma$ variables de 0 à $\pi - 1$
σ' indices $\xi'_1, \ldots . \xi'_{\sigma'}$ variables de 0 à $\pi' - 1$

et un dernier indice ε variable de 1 à μ', on pourra mettre les substitutions de h sous la forme

$$(7)\qquad \begin{aligned} A_1 &= | [\xi_1 \ldots \varepsilon] \quad j^{u}\theta^{\xi_1} [\xi_1 \ldots \varepsilon] | \\ B_1 &= [\xi_1 \ldots \varepsilon] \quad (\alpha + \beta j^{1+2\xi_1})^{u} [\xi_1 + 1 , \ldots , \varepsilon] | \end{aligned}$$

et si $k > 1$

$$(8)\qquad \begin{aligned} A_k &= | [\xi_1 \ldots \xi_k \ldots \varepsilon] \quad \theta^{\xi_k} [\xi_1 \ldots \xi_k \ldots \varepsilon] | \\ B_k &= | [\xi_1 \ldots \xi_k \ldots \varepsilon] \quad [\xi_1 , \ldots , \xi_k + 1 , \ldots \varepsilon] | \end{aligned}$$

et celles de h' sous une forme analogue

Nous désignerons par $[\xi_1 \ldots \varepsilon]_r$ les variables conjuguées des $[\xi_1 \ldots \varepsilon]$ obtenues en changeant i , j en i^{p^r}, j^{p^r}; par $[\xi_1 \ldots \varepsilon]'_r$ les variables associées qu'il y a lieu de considérer dans le cas des groupes de première catégorie. Enfin, si Φ est bilinéaire, par $\overline{[\xi_1 \ldots \varepsilon]}_r$, $\overline{[\xi_1 \ldots \varepsilon]}'_r$ le second système de variables cogrédientes aux précédentes.

§ IX.

29. Cherchons l'expression que doit avoir la forme Φ pour rester inaltérée par les substitutions de h et de h'.

1° Si G est de première catégorie, la réduction de h et h_1 à la forme canonique n'a pas altéré l'expression de Φ, qui sera toujours une somme de ν formes conjuguées, dont la première Φ_o aura pour expression avec nos nouvelles notations

$$(9)\qquad \Phi_o = \sum \left(\overline{[\xi_1 \ldots \varepsilon]} [\xi_1 \ldots \varepsilon]' - \overline{[\xi_1 \ldots \varepsilon]}' [\xi_1 \ldots \varepsilon] \right)$$

si Φ est bilinéaire, ou

$$(10)\qquad \Phi_o = \sum [\xi_1 \ldots \varepsilon] [\xi_1 \ldots \varepsilon]'$$

si Φ est quadratique.

30. 2° Si G est de deuxième catégorie, ce sera une somme de ν formes conjuguées, dont la première $\Phi_{o\nu}$ est une fonction linéaire des produits

$$[\xi_1 \ldots \xi_\sigma \, \xi'_1 \ldots \varepsilon] \quad [l_1 \ldots l_\sigma \, l'_1 \ldots \eta]_\nu$$

si Φ est quadratique.

Mais pour qu'une expression de ce genre ne soit pas altérée par les substitutions A, A' il faut qu'elle ne contienne que les termes où

$$l_1 = \xi_1 + \frac{p^\nu + 1}{2} u \; , \; l_2 = \xi_2 \; , \ldots$$

$$l'_1 = \xi'_1 + \frac{p^\nu + 1}{2} u' \; , \; l'_2 = \xi'_2 \; , \ldots$$

et pour qu'elle ne le soit pas par les substitutions B, B' il faut de plus que les coefficients des termes restants ne dépendent pas de $\xi_2, \ldots, \xi'_2, \ldots$ et soient multipliés par $(-1)^u$ lorsque ξ_1 augmente d'une unité, par $(-1)^{u'}$ lorsque ξ'_1 augmente d'une unité ; de sorte que $\Phi_{o\nu}$ se réduira à la forme

$$\sum_{\xi_1, \ldots, \varepsilon, \eta} (-1)^{\xi_1 u + \xi'_1 u'} a_{\varepsilon\eta} \Big[\xi_1 \ldots \varepsilon \Big] \Big[\xi_1 + \frac{p^\nu + 1}{2} u, \xi_2, \ldots, \xi'_1 + \frac{p^\nu + 1}{2} u', \ldots, \eta \Big]_\nu$$

Enfin, pour que $\Phi_{o\nu}$ ne soit pas altérée par le changement de i, j en i^{p^ν}, j^{p^ν}, on doit avoir

$$a_{\varepsilon\eta} = (-1)^{\frac{p^\nu+1}{2} \Sigma u} \left(a_{\varepsilon\eta} \right)^{p^\nu}.$$

Par une substitution de la forme

$$\left| \; [\xi_1 \ldots \varepsilon] \qquad \sum_t c_{\varepsilon t} [\xi_1 \ldots t] \; \right|$$

on pourra annuler tous les coefficients $a_{\varepsilon\eta}$ sauf les coefficients diagonaux $a_{\varepsilon\varepsilon}$ et donner à ceux-ci une valeur commune égale à une racine arbitrairement choisie de la congruence

$$e^{p^\nu - 1} \equiv (-1)^{\frac{p^\nu+1}{2} \Sigma u}.$$

On pourra prendre par exemple celle-ci

$$e = i^{\left(\frac{p^\nu+1}{2}\right)^2 \Sigma u}$$

d'où l'expression réduite de $\Phi_{o\nu}$

$$(11) \qquad \Phi_{o\nu} = i^{\left(\frac{p^\nu+1}{2}\right)^2 \Sigma u} \sum_{\xi_1, \ldots, \varepsilon} (-1)^{\xi_1 u + \xi'_1 u'} \Big[\xi_1 \ldots \varepsilon \Big] \Big[\xi_1 + \frac{p^\nu + 1}{2} u, \ldots, \varepsilon \Big]_\nu$$

Si Φ était bilinéaire, on trouverait une formule analogue, mais où le signe de $e^{p^\nu - 1}$ devrait être changé. On aurait ainsi

$$(12) \quad \Phi_{\upsilon\nu} = i^{\left(\frac{p^\nu+1}{2}\right)^2 \Sigma u + \frac{p^\nu+1}{2}} \sum_{\xi_1, \dots, \varepsilon} (-1)^{\xi_1 u + \xi'_1 u'} \left(\begin{array}{l} \left[\overline{\xi_1 \dots \varepsilon}\right] \left[\xi_1 + \frac{p^\nu+1}{2} u, \dots, \varepsilon\right]_\nu \\ - \left[\xi_1 \dots \varepsilon\right] \left[\overline{\xi_1 + \frac{p^\nu+1}{2} u, \dots, \varepsilon}\right]_\nu \end{array} \right)$$

31. 3° Si G est de troisième catégorie, on trouvera de même que pour rester inaltérée par les substitutions de h et de h', la fonction Φ, supposée quadratique, doit avoir la forme

$$(13) \quad \Phi = \sum_{\xi_1 \dots \varepsilon \eta} (-1)^{\xi_1 u + \xi'_1 u'} a_{\varepsilon\eta} [\xi_1 \, \xi_2 \dots \xi'_1 \dots \varepsilon] \, [\xi_1 + u, \xi_2 \dots, \xi'_1 + u', \dots \eta] \, .$$

Permutant les indices de sommation ε, η et changeant ξ_1, ξ'_1 en $\xi_1 + u$, $\xi'_1 + u'$, on trouvera

$$a_{\varepsilon\eta} = (-1)^{\Sigma u} \; a_{\eta\varepsilon}$$

Le déterminant des coefficients a sera donc symétrique ou gauche, suivant que Σu est pair ou impair.

S'il est symétrique, on pourra, par une substitution de la forme

$$\left| \; [\xi_1 \dots \varepsilon] \qquad \sum_\iota c_{\varepsilon\iota} \, [\xi_1, \dots, l] \; \right|$$

annuler les coefficients $a_{\iota\eta}$ non diagonaux et rendre les autres égaux à 1, à l'exception du dernier qui pourra être un non résidu quadratique de p.

Si ce déterminant est gauche on pourra annuler tous les coefficients a, sauf ceux-ci

$$a_{12} = - a_{21} \; , \; a_{34} = - a_{43} \; , \; \dots$$

qui seront égaux à l'unité.

Si Φ était bilinéaire, elle serait de la forme

$$(14) \quad \sum (-1)^{\xi_1 u + \xi'_1 u'} a_{\varepsilon\eta} \left[\begin{array}{l} [\overline{\xi_1 \dots \varepsilon}] \; [\xi_1 + u, \xi_2, \dots, \xi'_1 + u', \dots, \eta] \\ - [\xi_1 \dots \varepsilon] \; [\overline{\xi_1 + u, \xi_2, \dots, \xi'_1 + u', \dots, \eta}] \end{array} \right]$$

le determinant des $a_{\iota\eta}$ étant gauche si Σu est pair, symétrique si Σu

est impair. On pourrait d'ailleurs le réduire à une forme canonique de la même manière que le précédent.

§ X.

32. Soient $\mathfrak{K}$, $\mathfrak{K}(\Phi)$ les groupes respectivement formés par celles des substitutions de K et de $K(\Phi)$ qui sont permutables aux seconds faisceaux h, h'; le groupe cherché G sera contenu dans $\mathfrak{K}$, et même dans $\mathfrak{K}(\Phi)$.

Cherchons donc la forme générale des substitutions de ces groupes, en commençant par celles qui ne déplacent pas les séries.

Soit S une semblable substitution, appartenant à $\mathfrak{K}$. Etant échangeable à θ, elle devra transformer les 2σ substitutions fondamentales A_k, B_k en de nouvelles substitutions $\mathfrak{A}_k$, $\mathfrak{B}_k$ ayant les mêmes exposants d'échange mutuels, et si $\pi = 2$ les mêmes caractères.

Mais réciproquement, si le système des $\mathfrak{A}_k$, $\mathfrak{B}_k$ satisfait à ces conditions, on pourra toujours déterminer une substitution de la forme

$$T = \left| \; [\xi_1 \dots \xi_\sigma \xi'_1 \dots \varepsilon] \quad \sum_{l_1 \dots l_\sigma} c_{\xi_1 \dots \xi_\sigma}^{l_1 \dots l_\sigma} [l_1 \dots l_\sigma \xi'_1 \dots \varepsilon] \; \right|$$

qui transforme les A_k, B_k en $\mathfrak{A}_k$, $\mathfrak{B}_k$.

Cette substitution résultera de la combinaison de celles de h avec certaines substitutions fondamentales que nous allons énumérer:

1° Soit d'abord $u = 0$

La substitution

$$(15) \qquad C_k = \left| \; [\xi_1 \dots \xi_k \dots \varepsilon] \qquad a \sum_l \theta^{l\xi_k} [\xi_1 \dots l \dots \varepsilon] \; \right|$$

(où nous nous réservons de disposer du coefficient a) échange A_k et B_k.

La substitution.

$$(16) \qquad D_{kl} = \left| \; [\xi_1 \dots \varepsilon] \qquad \theta^{-\xi_k \xi_l} [\xi_1 \dots \varepsilon] \; \right|$$

change B_k, B_l en $B_k A_l$, $B_l A_k$.

Enfin la substitution

$$(17) \qquad E_1 = \left| \; [\xi_1 \dots \varepsilon] \qquad \theta^{-\frac{\xi_k (\xi_k - 1)}{2}} [\xi_1 \dots \varepsilon] \; \right|$$

transforme B_k en $B_k A_k$ si π est impair; si $\pi = 2$ elle se réduit à l'unité.

2° Si $u = 1$ (d'où $\pi = 2$) on ne pourra utiliser parmi les substitutions ci-dessus que celles dont les indices surpassent l'unité; mais on y joindra les suivantes:

$$(18) \quad \mathcal{C}_1 = \left| [\xi_1 \dots \varepsilon] \quad b(j^{2\xi_1+1} [\xi_1 \dots \varepsilon] + (\alpha + \beta j^{2\xi_1+1}) [\xi_1 + 1, \dots, \varepsilon]) \right|$$

qui échange A_1 et B_1 (le facteur b sera fixé ultérieurement);

$$(19) \quad \mathcal{E}_1 = \left| [\xi_1 \dots \varepsilon] \quad b(1 - j^{2\xi_1+1}) [\xi_1, \dots \varepsilon] \right|$$

qui change B_1 en $A_1 B_1$;

Et enfin, si $\sigma > 1$, la substitution

$$(20) \quad \mathfrak{D}_{1l} = \left| [\xi_1 \dots \varepsilon] \quad \left(\frac{1 + j^{2\xi_l}}{2} + j^{2\xi_1+1} \frac{1 - j^{2\xi_l}}{2} \right) [\xi_1 \dots \varepsilon] \right|$$

qui change B_1, B_l en $B_1 A_l$, $A_l B_l A_1$.

On voit aisément qu'en combinant ces substitutions on pourra transformer le système $\dots, \mathfrak{A}_k, \mathfrak{B}_k, \dots$ en un autre, où $\mathfrak{A}_1$ soit remplacé par A_1; celui-ci en un autre dont les deux premières substitutions soient A_1 et B_1; et ainsi de suite jusqu'à ce qu'on soit parvenu au système $A_1, B_1. \dots, A_k, B_k, \dots$

En procédant d'une manière inverse on transformerait réciproquement ce dernier système en $A_1, B_1 \dots$

33. Si G est de première catégorie, aucune des substitutions (15) à (20) n'altérera la forme invariante Φ, si les variables

$$[\xi_1 \dots \varepsilon]'_r \text{ associées aux variables } [\xi_1 \dots \varepsilon]_r$$

et que l'écriture n'a pas mises en évidence subissent l'opération adjointe de celle que nous avons indiquée.

34. Si G est de seconde catégorie, Φ sera encore inaltérée, pourvu qu'on détermine les constantes a, b par les relations

$$\pi a^{p^\nu+1} \equiv 1 \mod p$$

$$2b^{p^\nu+1} \equiv 1 \mod p$$

ce qui est toujours possible.

35. Si G est de troisième catégorie, auquel cas $\pi = 2$ (car il divise ω qui est ici égal à 2), on posera $a = b = 1$. Les substitutions D_{kl}, E_k, $\mathfrak{D}_{1l}$ laissent Φ invariable, et C_k, $\mathfrak{C}_1$, $\mathfrak{E}_1$ la multiplient par 2. Dans tous les cas, toutes ces substitutions fondamentales appartiendront donc à $\mathcal{H}(\Phi)$.

36. On verra absolument de même que quelle que soit la manière dont la substitution S transforme les unes dans les autres les substitutions de h', il existera dans $\mathcal{H}(\Phi)$ une substitution de la forme

$$T' = \left| \, [\xi_1 \ldots \xi'_1 \xi'_2 \ldots \varepsilon] \quad \sum c_{\xi'_1 \ldots \xi'_{\sigma'}}^{l'_1 \ldots l'_{\sigma'}} [\xi_1 \ldots l'_1 l'_2 \ldots \varepsilon] \, \right|$$

qui produit cette même permutation.

La substitution S sera donc de la forme TT'U, U étant une nouvelle substitution de $\mathcal{H}(\Phi)$, échangeable à toutes celles de h et de h' et ne déplaçant pas les séries; U sera donc de la forme

$$U = \left| \, [\xi_1 \ldots \varepsilon] \quad \sum_l c_1^l [\xi_1 \ldots l] \, \right| .$$

37. Reste à déterminer, s'il y a plusieurs séries, celles des substitutions de $\mathcal{H}(\Phi)$ qui les déplacent.

1° Si G est de seconde catégorie, nous aurons la substitution

$$(21) \quad \mathcal{S} = \left| \, [\xi_1 \ldots \varepsilon], \quad c^{p^r} [\xi_1 + \frac{p-1}{2} u, \xi_2, \ldots \xi'_1 + \frac{p-1}{2} u', \ldots, \varepsilon]_{r+1} \, \right|$$

qui permute circulairement les séries conjuguées, est échangeable à $B_1, B_2, \ldots, B'_1, \ldots$ et transforme $A_1, A_2, \ldots, A'_1, \ldots$ en

$$\theta^{\frac{p-1}{2} u} A_1^p, \; A_2^p, \ldots, \theta^{\frac{p-1}{2} u'} A'^p_1, \ldots$$

Enfin elle n'altérera par Φ si l'on détermine c par la congruence

$$c^{p^\nu + 1} \equiv e^{p-1} (-1)^{\frac{p-1}{2} \Sigma u} \bmod p .$$

En se reportant à la valeur de e donnée ci-dessus on voit qu'on pourra poser

$$c = i^{\frac{p-1}{2} p^\nu \Sigma u}, \quad \text{si } \Phi \text{ est quadratique}$$

$$c = i^{\frac{p-1}{2} [1 + p^\nu \Sigma u]}, \quad \text{si } \Phi \text{ est bilinéaire.}$$

2° Si Φ était nul on pourrait poser plus simplement $c = 1$.

3° Si G est de première catégorie, on arrivera aux mêmes résultats en prenant pour $\mathcal{S}$ la substitution.

$$(22)\quad \mathcal{S} = \left| \begin{matrix} [\xi_1 \ldots \xi'_1 \ldots \varepsilon]_r & \left[\xi_1 + \frac{p-1}{2} u, \ldots, \xi'_1 + \frac{p-1}{2} u', \ldots, \varepsilon\right]_{r+1} \\ [\xi_1 \ldots \xi'_1 \ldots \varepsilon]'_r & \left[\xi_1 + \frac{p-1}{2} u, \ldots, \xi'_1 + \frac{p-1}{2} u', \ldots, \varepsilon\right]'_{r+1} \end{matrix} \right|$$

On aura en outre une substitution de la forme

$$(23)\quad \mathcal{R} = \left| \begin{matrix} [\xi_1 \ldots \xi'_1 \ldots \varepsilon]_r & [\xi_1 + u, \ldots, \xi'_1 + u', \ldots \varepsilon]'_r \\ [\xi_1 \ldots \xi'_1 \ldots \varepsilon]'_r & (-1)^\tau [\xi_1 + u, \ldots, \xi'_1 + u', \ldots \varepsilon]_r \end{matrix} \right|$$

τ étant égal à 0 ou à 1 suivant que Φ est quadratique ou bilinéaire. Cette substitution, qui permute les deux systèmes de séries associées, laisse Φ invariable et transforme $A_1, B_1, A_2, B_2, \ldots, A'_1, B'_1, \ldots$

$$\text{en } \theta^{-u}A_1^{-1}, \ \theta^u B_1, \ A_2, \ B_2, \ldots, \ \theta'^{-u'}A'^{-1}_1, \ \theta^{u'}B'_1, \ldots;$$

Ces deux substitutions $\mathcal{S}$, $\mathcal{R}$ sont propres et échangeables entre elles.

§ XI.

Supposons, pour fixer les idées, que G soit de première catégorie. Ses substitutions seront de la forme $\mathcal{R}^\alpha \mathcal{S}^\beta$ T T' U et résulteront de la combinaison de substitutions de la forme T T' U avec une seule substitution $\mathcal{R}\mathcal{S}^\delta$ $T_1 T'_1 U_1$ ou avec deux substitutions $\mathcal{R} T_1 T'_1 U_1$, $\mathcal{S}^\delta T_2 T'_2 U_2$.

Admettons pour fixer les idées la seconde hypothèse, et soient $T_3 T'_3 U_3, \ldots$ les autres substitutions qui, jointes aux précédentes, reproduisent G.

On remarquera que les substitutions $\mathcal{S}$ et $\mathcal{R}$ sont échangeables; qu'elles transforment toute substitution de l'une des espèces T, T', U en une substitution de même espèce; que deux substitutions d'espèce différente sont échangeables; enfin que les seules substitutions propres qui soient communes aux trois espèces sont celles de F_0.

Cela posé, le groupe G étant résoluble, les groupes isomorphes, respectivement dérivés des substitutions

$$(\mathcal{R} T_1, \ \mathcal{S}^\delta T_2, \ T_3, \ \ldots)$$
$$(\mathcal{R} T'_1, \ \mathcal{S}^\delta T'_2, \ T'_3, \ \ldots)$$
$$(\mathcal{R} U_1, \ \mathcal{S}^\delta U_2, \ U_3, \ \ldots)$$

le seront. Il en sera de même du groupe dérivé de

$$(\mathfrak{K}\, T_1 T'_1 U_1,\ \mathfrak{F}^{\delta}\, T_2 T'_2 U_2,\ T_3, \ldots,\ T'_3, \ldots,\ U_3, \ldots)$$

D'ailleurs toutes les substitutions de ce groupe transforment Φ en elle-même à un facteur près. Le groupe G, contenu dans celui-ci étant maximum, par hypothèse, doit se confondre avec lui.

Réunissons dans une même classe celles des variables de la première série qui ne diffèrent que par l'indice ε; et soit μ'' le nombre des variables de chaque classe. On aura

$$\mu = \pi^{\sigma} \pi'^{\sigma'} \mu''.$$

39 *Théorème. On aura nécessairement* $\mu'' = 1$.

En effet, le groupe partiel $(U_3, \ldots)$ ne contient par hypothèse aucune substitution propre autre que celles de F_0. Donc en répétant sans aucun changement le raisonnement du § VI on verrait que si $\mu'' > 1$ il existe nécessairement une substitution propre de l'espèce U permutable au groupe

$$\mathfrak{K}\, U_1,\ \mathfrak{F}^{\delta}\, U_2,\ U_3, \ldots$$

et par suite au groupe G; celui-ci ne serait donc pas maximum.

L'indice ε n'étant susceptible que d'une seule valeur, doit être supprimé dans l'écriture, ainsi que les substitutions U, qui se réduiront à celles de F et sont à la fois de l'espèce T et de l'espèce T'.

§ XII.

40. Il est maintenant facile d'achever la solution du problème.

Soit $S = \mathfrak{K}^{\alpha} \mathfrak{F}^{\beta}\, T\, T'$ une substitution de G; elle transformera $\theta, \ldots, A_k, B_k, \ldots$ en

$$\theta^{(-1)^{\alpha} p^{\beta}}, \ldots, A_k = \theta^{\lambda_k} A_1^{a_{1k}} A_2^{a_{2k}} \ldots B_1^{b_{1k}} \ldots,$$

$$B_k = \theta^{\mu_k} A_1^{c_{1k}} A_2^{c_{2k}} \ldots B'_1{}^{d_{1k}} \ldots$$

et généralement la substitution

$$V = \theta^{\lambda} A_1^{x_1} A_2^{x_2} \ldots B_1^{y_1} \ldots :$$

en une substitution de la forme

$$V' = \theta^{\lambda'} A_1^{x'_1} A_2^{x'_2} \ldots B_1^{y'_1} \ldots$$

où

$$\left.\begin{aligned} x'_k &\equiv \sum_i (a_{ik}x_i + c_{ik}y_i) \\ y'_k &\equiv \sum_i (b_{ik}x_i + d_{ik}y_i) \end{aligned}\right\} \text{mod. } \pi$$

Faisons correspondre à S la substitution linéaire à 2σ variables

$$s = \left| \begin{matrix} x_k & \sum_i (a_{ik}x_i + c_{ik}y_i) \\ y_k & \sum_i (b_{ik}x_i + d_{ik}y_i) \end{matrix} \right| \text{mod. } \pi$$

L'ensemble des substitutions s correspondantes aux diverses substitutions de G forme un groupe γ isomorphe à G et par suite résoluble; il sera d'ailleurs primaire (autrement h ne serait pas minimum).

De plus, ses substitutions laissent invariante une forme quadratique, si $\pi = 2$; car le caractère de V, qui a pour expression

$$\Psi = u(x_1^2 + y_1^2) + \sum_1^\sigma x_k y_k$$

ne doit pas être altéré par la transformation.

Si π est impair, toutes les substitutions de h ont le même caractère, mais nous aurons un invariant bilinéaire.

Soit en effet

$$W = \theta^{\Lambda} A_1^{X_1} A_2^{X_2} \dots B_1^{Y_1} \dots$$

une autre substitution de h; son exposant d'échange avec V sera

$$\Psi = \sum (X_k y_k - x_k Y_k)$$

S transformant θ en $\theta^{(-1)^\alpha p^\beta}$, sa correspondante s reproduira cette forme bilinéaire multipliée par $(-1)^\alpha p^\beta$.

Le groupe γ sera contenu dans l'un des groupes Γ résolubles primaires et maxima dont les substitutions reproduisent à un facteur près cette même fonction Ψ.

D'ailleurs, lorsque Ψ est quadratique, Γ sera du premier ou du second type suivant qu'on a $u = 0$ ou $u = 1$.

Considérons de même les transformées par S des substitutions de h'. Nous pourrons faire correspondre à S une nouvelle substitution linéaire s' à $2\sigma'$ variables; et les substitutions s' formeront un

groupe γ' contenu dans l'un des groupes Γ' résolubles primaires et maxima qui admettent la forme invariante

$$\Psi' = u'(x_1'^2 + y_1'^2) + \sum_1^{\sigma'} x'_k y'_k, \qquad \text{si } \pi' = 2$$

ou

$$\Psi' = \sum_1^{\sigma'} (X'_k y'_k - x'_k Y'_k), \qquad \text{si } \pi \text{ est impair.}$$

41. Réciproquement, supposons construits deux groupes linéaires Γ, Γ' de degrés $\pi^{2\sigma}$, $\pi'^{2\sigma'}$, résolubles, primaires et maxima parmi ceux qui admettent des invariants Ψ, Ψ' bilinéaires ou quadratiques du type déterminé par u, u'. On pourra par un changement de variables ramener ces invariants aux formes canoniques données ci-dessus. Cela posé, soient d, d' les exposants respectifs de ces groupes; g, g' des racines primitives de π, π'. Soient enfin s, s' deux substitutions prises dans Γ et Γ'; elles multiplieront les fonctions invariantes Ψ, Ψ' par des facteurs de la forme $g^{d\lambda}$, $g'^{d\lambda'}$.

A ce couple de substitutions correspondront dans le groupe G que nous nous proposons de construire des substitutions de la forme

$$\mathfrak{R}^\alpha \mathfrak{P}^\beta \mathrm{T}\,\mathrm{T}'$$

si nous avons

$$(24) \qquad (-1)^\alpha p^\beta \equiv g^{d\lambda} \bmod \pi \equiv g'^{d'\lambda'} \bmod \pi'.$$

Soit S l'une d'elles: les autres seront de la forme $\mathrm{S}\,\mathrm{T}_1\,\mathrm{T}'_1$, $\mathrm{T}_1\,\mathrm{T}'_1$ ne déplaçant plus les séries et étant échangeable à A_1, B_1, ... aux puissances près de θ; à A'_1, B'_1, ... aux puissances près de θ'. Ce sera donc une des substitutions du groupe (F, h, h').

En choisissant convenablement s et s', on peut donner à λ, λ' des valeurs quelconques. Donc G contiendra des substitutions de la forme $\mathfrak{R}^\alpha \mathfrak{P}^\beta \mathrm{T}\,\mathrm{T}'$, α, β étant donnés, si l'on peut déterminer λ et λ' de manière à satisfaire aux relations (24). Pour cela il faut et il suffit que $(-1)^\alpha p^\beta$ soit résidu quadratique de tous ceux des nombres π, π' auxquels correspond un groupe Γ ou Γ' d'exposant 2.

Cette condition est toujours satisfaite si $\alpha = 0$, β pair. Mais elle doit l'être aussi pour un système de valeurs α, β où α soit égal à 1, afin que G soit primaire.

Si elle l'est pour $\alpha = 1$, $\beta = 0$ ainsi que pour $\alpha = 0$, $\beta = 1$, G résultera de la combinaison de deux substitutions distinctes

$$\mathfrak{K} T_1 T'_1 \ , \ \mathfrak{F} T_2 T'_2$$

avec des substitutions T T'.

Si elle l'est pour $\alpha = 1$, $\beta = 0$, mais non pour $\alpha = 0$, $\beta = 1$, les deux substitutions à joindre aux substitutions T T' seront

$$\mathfrak{K} T_1 T'_1 \ , \ \mathfrak{F}^2 T_2 T'_2$$

Enfin, si elle ne l'est pas pour $\alpha = 1$, $\beta = 0$ il faudra qu'elle le soit pour $\alpha = 1$, $\beta = 1$, et l'on n'aura à joindre aux substitutions T T' qu'une substitution unique, de la forme

$$\mathfrak{K} \mathfrak{F} T_1 T'_1 \ .$$

42. Dans le cas des groupes de deuxième catégorie il n'y a pas de substitution $\mathfrak{K}$ et les relations (24) sont remplacées par les suivantes

$$p^\beta \equiv g^{d\lambda} \bmod \pi \equiv g'^{d'\lambda'} \bmod \pi' \ .$$

On pourra toujours y satisfaire si β est pair, de sorte que G résultera de substitutions T T' jointes à une seule substitution

$$P^\delta T_1 T'_1$$

δ étant égal à 1 ou à 2.

43. Enfin dans le cas des groupes de troisième catégorie, à tout couple de substitutions associées s, s' correspondent toujours des substitutions de G, qu'on peut obtenir en multipliant l'une d'elles par les substitutions du groupe

$$(F \ , \ h \ , \ h')$$

en désignant par F l'ensemble des substitutions qui multiplient toutes les variables par le même facteur.

44. Il reste à reconnaître pour les groupes de troisième catégorie, quel est leur type, ainsi que leur exposant.

Remarquons d'abord que si Φ est bilinéaire, on a nécessairement $\Sigma u = 1$; sinon, Φ serait identiquement nulle.

Au contraire, si Φ est quadratique, on doit avoir par la même raison $\Sigma u' = 0$.

Cette fonction se réduit d'ailleurs soit à une somme de rectangles, soit à une somme de $2^{\sigma+\sigma'}$ carrés. Elle sera donc toujours du premier type, si comme nous l'avons admis, il y a plus d'un second faisceau. Il en sera de même si on n'a qu'un seul second faisceau, mais pour lequel on ait $\sigma > 1$. Si $\sigma = 1$, Φ sera une somme de deux carrés seulement, et appartiendra au premier ou au deuxième type suivant que $\left(\frac{-1}{p}\right) = +1$ ou $\left(\frac{-1}{p}\right) = -1$.

45. Enfin toutes les substitutions fondamentales dont sont composées celles de G laissent Φ invariable, ou le multiplient par 2, ou enfin (celles de F) par un carré. Donc si $\left(\frac{2}{p}\right) = +1$, G sera d'exposant 2.

Si $\left(\frac{2}{p}\right) = -1$, G sera d'exposant 1, si dans l'une au moins de ses substitutions figurent en nombre impair comme facteurs les substitutions qui multiplient Φ par 2.

Pour reconnaître s'il en est ainsi, considérons les groupes auxiliaires Γ, Γ' de degrés $2^{2\sigma}$, $2^{2\sigma'}$ qui servent à la construction de G. L'un quelconque d'entre eux Γ, s'il est décomposable, se construira lui-même à l'aide d'un groupe indécomposable Γ_1, de degré $2^{2\sigma_1}$ et de première ou de seconde catégorie. (Si Γ est indécomposable on aura $\Gamma_1 = \Gamma$).

Cela posé, pour que G soit d'exposant 2, il est nécessaire et suffisant 1° que les groupes Γ_1 soient tous de première catégorie 2° que les nombres σ_1 soient tous pairs [1].

46. La méthode précédente fournit avec certitude tous les groupes maxima cherchés; mais il n'est pas établi que parmi ceux qu'elle donne il n'en existe pas quelques uns qui doivent être rejetés comme n'étant pas maxima. Quelques uns d'entre eux, en petit nombre, sont effectivement à exclure. Mais cette discussion est longue et délicate et nous ne pouvons à cet égard que renvoyer à nos anciens travaux. (T. S. N^{os} 701 à 850).

---

[1] T. S. N^{os} 672-685.

ULTERIORE CONTRIBUTO

ALLA

FISIOLOGIA DELL' IPOFISI

*

MEMORIA

del Prof. Dott. Fra AGOSTINO GEMELLI

DEI MINORI

(con quattro figure nel testo)

È stato notevole in questi ultimi anni il risveglio di ricerche instituite per determinare il significato anatomico e funzionale dell' ipofisi cerebrale; ma, se importanti, senza alcun dubbio, sono stati i resultati sin qui ottenuti, se numerose sono state le ipotesi emesse per interpretare tali resultati, tuttavia noi dobbiamo riconoscere che ciò che noi sappiamo intorno a questo organo è ancor poco per poter permetterci di designare, anche a grandi linee, la sua fisiologia e il suo significato morfologico. Gli è certo che la sua posizione anatomica è tale che — sopratutto allorchè si considerano i suoi rapporti con gli altri organi — fa pensare che non senza una causa le variazioni morfologiche si siano determinate in modo tale da racchiuderla nel fondo della sella turcica, ove è singolarmente difesa ed isolata da ogni altro organo, irrorata tuttavia da una rete vascolare ricchissima ed in intimo rapporto di continuità con organi importantissimi.

La sua posizione alla base della massa cerebrale, in vicinanza delle fosse nasali, in diretto rapporto con l' infundibolo, fece nascere spontanea negli antichi l' ipotesi, che ha avuto valore per lungo numero d' anni, secondo la quale questo organo ha la funzione di filtrare ed estrarre il muco (*materia peccans*) del cervello.

Galeno considerava la ipofisi come un organo assorbente la pituita del cervello, la quale, attraverso i *foramina* dell' etmoide e attraverso i fori del fondo della sella turcica. è espulsa verso il naso.

Vesalio invece modificò tale ipotesi in quanto che egli credette che la pituita raccolta nell' infundibolo passasse nella ipofisi e che al-

la espulsione contribuissero le vene e le arterie del cervello; perciò fu da questo A. chiamata: *Glans pituitam excipiens.*

Willis invece credeva che il liquido, che si riscontra nei ventricoli cerebrali, non fosse che un prodotto cadaverico e che durante la vita le sostanze di rifiuto del cervello fossero raccolte nella giandola pituitaria e di qui, per mezzo della via sanguigna, fossero esportate.

Molto diversa era l'ipotesi di Wieussens, il quale credeva che la ipofisi fosse un organo avente l'ufficio di elaborare il liquido cefalorachidiano.

Piccolomini credeva che la ipofisi avesse l'ufficio di chiudere l'infundibolo affinchè: *spiritus animae ne egrederetur.*

Non meno curiosa era l'ipotesi di Des Cartes, il quale supponeva che nel cervello vi fosse un parallelogramma, sede dell'anima, e che l'angolo anteriore di questo ne fosse l'ipofisi, mentre il centro ne fosse l'epifisi.

Willis per il primo osservò l'esistenza della cavità infundibolare e primo vide anche che l'ipofisi è costituita da due parti: anteriore l'una, posteriore l'altra, nella quale è contenuto un liquido lattiginoso. Egli pensava che nella cavità infundibolare si versasse il liquido colato dal ventricolo medio.

Silvius e Magendie considerarono l'ipofisi come una ghiandola linfatica avente la funzione di raccogliere il liquido cerebrale; però anche queste idee non erano corroborate da dati sperimentali. L'ipofisi rimaneva un organo enigmatico.

Solo gli studî recenti sulle ghiandole chiamate a secrezione interna portarono un reale contributo a questa questione. Ciò avvenne allorchè le ricerche di Claude Bernard permisero di stabilire che vi sono due categorie di ghiandole: le une che versano nel torrente circolatorio il prodotto della loro attività; le altre che estraggono dal sangue certi principî che sono poi da esse ulteriormente elaborati.

Questo concetto fu poscia notevolmente modificato quando le ricerche di Brown-Sequard dimostrarono che le ghiandole sino ad allora chiamate vascolari sanguigne dovevano interpretarsi come ghiandole a secrezione interna. Fra queste si comprese doversi annoverare la ipofisi.

Si debbono specialmente agli anatomici i resultati ai quali si giunse negli anni seguenti e furono precisamente le osservazioni condotte

con indirizzo anatomico da STIEDA e da ROGOWITSCH (i quali studiarono i rapporti tra ipofisi e tiroide) che ridestarono l'interesse per lo studio della funzione di questo organo.

Il fatto che da parecchi autori si affermava esservi grande somiglianza di struttura tra ipofisi e tiroide fece sì che, allorchè fu delineata la fisiologia della tiroide, tosto si corse ad applicare anche all'ipofisi quel largo corredo di fatti e di idee che appunto in quegli anni si era accumulato sulla tiroide. A ciò si aggiunga l'interesse destato da MARIE quando pubblicò il primo lavoro sulla anatomia patologica dell'ipofisi nell'acromegalia e per il primo emise l'ipotesi che l'acromegalia debba essere dovuta ad una neoformazione dell'ipofisi.

Questi furono i primi dati sperimentali sulla funzione dell'ipofisi, dati che aprirono la via agli studiosi che ulteriormente si occuparono di questo organo.

Non è mia intenzione riferire qui tutte le indagini che nei tempi successivi furono fatte per esplorare quale è la funzione di questo organo, ciò io ho già fatto nei miei lavori precedenti. Mi basti notare che in queste ricerche furono seguite quattro vie diverse essendosi cercato di determinare;

1). Gli effetti conseguenti la ablazione della ipofisi o delle sue parti;

2). Gli effetti determinati da iniezioni di estratti o di succhi della ipofisi;

3). Gli effetti delle eccitazioni dirette (meccaniche-chimiche od elettriche) della ipofisi;

4). Le variazioni della funzione ipofisaria sia in rapporto con le funzioni di altri organi, sia in speciali condizioni fisiologiche o in determinati processi morbosi.

Già parecchi anni fa io aveva tentato la prima di queste vie, la quale si presenta come la più ovvia al fisiologo perchè, levando o distruggendo un determinato organo, si possono determinare le alterazioni che resultano dalla mancanza o dalla insufficienza della sua funzione.

Difficoltà tecniche e d'ambiente non mi permisero riuscire nel mio intento e mi distolsero ben presto da questa via; mi rivolsi allora all'esperimento indiretto. Questo si prestava assai bene, perchè le importanti ricerche compiute da una lunga serie di studiosi su altre

ghiàndole a secrezione interna (tiroide, paratiroide, capsule surrenali, ecc.) avevano già aperta la via, mostrando quali sono i mezzi migliori e più sicuri. I resultati ottenuti in questo modo avevano poi un valore speciale per un motivo che è bene ricordare. Come si sa, l'ipofisi consta di tre parti che io ho accuratamente descritte nei miei lavori precedenti e cioè consta di un lobo nervoso e di un lobo ghiandolare, a sua volta costituito da una porzione posteriore e di una anteriore. Ora, poichè è impossibile nell'animale vivo separare le tre porzioni, perchè tra esse non vi ha semplice contiguità anatomica, ognuno comprende che l'ablazione dell'ipofisi viene ad avere un valore relativo assai, in quanto che non si possono separare gli effetti ed attribuirli all'una porzione piuttosto che all'altra. L'esperimentazione indiretta invece ha il vantaggio di permettere al ricercatore di agire elettivamente su una delle tre porzioni in modo tale da poter permettere al fisiologo di attribuire ad essa i resultati ottenuti. È solo quindi dopo che con lo esperimento indiretto si è riusciti a determinare le funzioni delle singole porzioni che si può progredire oltre e riuscire a determinare gli effetti dell'ablazione.

Io ho seguito questa via ed i resultati ottenuti mi dimostrano la bontà del metodo.

Con l'esperimento indiretto io sono riuscito dapprima a determinare la funzione del lobo ghiandolare. Riassumo brevemente i resultati ottenuti:

1). Il lobo ghiandolare dell'ipofisi è costituito a due porzioni, anteriore l'una, posteriore l'altra (derivata delle relative pareti della tasca di Rathke) racchiudenti una cavità filiforme ad U.

2). La porzione anteriore è costituita da due tipi di cellule principali: cromofile le une, cromofobe le altre.

3). Le cellule cromofile sono di tre categorie:

a). cellule acidofile,
b). cellule di transizione
c). cellule cianofile.

Esse elaborano una sostanza speciale.

2. Queste tre categorie di cellule non sono altro che stadî funzionali diversi che conducono all'elaborazione di una sostanza caratteristica, basofila, la quale, probabilmente, è riversata in circolo sanguigno.

3. Lo studio del comportamento della porzione anteriore del lobo ghiandolare dell'ipofisi nelle intossicazioni sperimentali e nel letargo invernale degli animali ibernanti fanno ritenere che questo organo ha una funzione antitossica complementare di quella della tiroide e delle capsule surrenali.

4. La porzione posteriore del lobo ghiandolare ha la forma di una sottile parete che si adatta all'intorno del lobo nervoso; i suoi estremi si attaccano agli estremi della porzione anteriore del lobo ghiandolare; viene in questo modo racchiusa tra le due parti la cavità filiforme suddetta. La porzione posteriore è costituita da uno strato di cellule cilindriche e da cellule di sostegno. Ad essa si distribuiscono, in quantità grandissima e in modo caratteristico, i nervi provenienti dal lobo nervoso dell'ipofisi. Questa porzione posteriore elabora una sostanza caratteristica.

5. L'ipofisi è un organo a funzione complementare, che elabora nella porzione anteriore del lobo ghiandolare una sostanza specifica, la cui produzione in modo ipotetico possiamo supporre avvenga per l'azione intermediaria del lobo nervoso sulla porzione posteriore del lobo ghiandolare.

La mia attenzione è stata portata anche sul lobo nervoso, ma io non sono riuscito che a chiarirne la sua importanza anatomica. Con l'aiuto dei più fini metodi per lo studio del sistema nervoso sono riuscito a determinare che esso non è, come si riteneva, un organo rudimentale, ma bensì un organo a struttura assai complessa, che qui è inutile riferire, e che esso è in intimo rapporto di continuità per mezzo di fasci nervosi con il resto dell'asse cerebro-spinale [1].

A confermare l'alta importanza anatomica di questa porzione nervosa dell'ipofisi vennero in questi ultimi tempi gli importanti lavori di SALVIOLI e CARRARA e quello di SCHÄFER ed HERING.

SALVIOLI e CARRARA, riprendendo le ricerche di OLIVER, SCHÄFER,

---

[1] Gemelli, *Bollett. Società Medico-chirurgica*, Pavia, giugno 1900, con una tavola.
Id., *Bollett. Società Medico-chirurgica*, Pavia, novembre 1903, con 5 tavole.
Id., *Rivista di scienze fisiche, matematiche e naturali*, Pavia, 1903.
Id., *Ibid.*, 1905, con una tavola.
Id., *Ibid.*, 1905, con una tavola, e 9 figure.
Id., *Journal de l'anatomie (Duval)*, Paris, anno XLII, 1906, n. 1. con una tavola.
Id., *Archivio di fisiologia*, Firenze, 1906, novembre.
Id., *Memorie Accademia Pontificia dei N. Lincei*, Vol. XXIV, 1906.
Id., *Anatomischer Anzeiger*, Jena, B. XXVIII, n. 24.

Mairet, Bosc, Cyon, Livon, Howell, Silvestrini, hanno dimostrato che gli estratti del lobo posteriore, o nervoso, determinano una leggiera diminuzione della pressione sanguigna, seguita tosto da una ipertensione più o meno notevole, ed inoltre determinano importanti modificazioni del ritmo cardiaco. Di più Schäfer ed Herring dimostrarono che, oltre gli effetti sul sistema circolatorio, la porzione infundibolare (posteriore o nervosa) esercita una marcata azione sulla secrezione renale (dilatazione dei tubi renali, aumento della secrezione renale) tanto che questa porzione dell'ipofisi si deve ritenere come organo ancillare del rene.

Così noi, da un lato, abbiamo le ricerche mie, di Marenghi, di Pirone, di Guerrini, di Torri, ecc., le quali, estendendo l'ipotesi emessa da molto tempo da Rogowitsch, Stieda, Schoenemann, ecc., dimostrano che le due porzioni del lobo ghiandolare costituiscono un organo a secrezione interna e a funzione eminentemente antitossica. Dall'altra abbiamo le succitate ricerche dimostranti che il lobo nervoso, o infundibolare, o posteriore dell'ipofisi, ha una azione caratteristica sul sistema circolatorio e sul rene.

Messa così in luce mediante l'esperimento indiretto, la funzione dei due lobi dell'ipofisi veniva poscia confermata dallo studio delle variazioni nella funzione ipofisaria in speciali condizioni dell'organismo e in rapporto con le funzioni di altri organi o anche in determinati processi morbosi.

Qui abbiamo i lavori di Torri, di Guerrini e i miei, dimostranti che ogni qual volta si determina un disordine nel ricambio, per es., provocando intossicazioni da veleni esogeni o endogeni, si determina uno stimolo funzionale sulla ghiandola ipofisaria e, se lo stimolo dura a lungo ed è a sufficienza intenso, si determina in secondo tempo ed abbastanza sollecitamente la comparsa di ipertrofie e di iperplasie nel parenchima ghiandolare.

Id., *Rendiconti Istituto lombardo di scienze e lettere*, 8 marzo 1906, II, Vol. XXIX.
Id., *Archivio per le scienze mediche*, Vol. XXX, N. 17, 1906.
Id., *Biologica*, F. 1, N. 9, 1906.
Id., *Archivio per le scienze mediche*, Vol. XXX, N. 27, 1907.
Id., *Anatomischer Anzeiger*, B. XXXI, 1907.
Id., *Archives Italienn. de biologie*, Vol. 1907.
Id., *Congresso dei Naturalisti Italiani del 1906*, Cfr. *Atti del congresso*, 1907.
Id., *Atti Società Italiana Sc. Naturali*, seduta 17 nov. 1907.
Id., *Atti Società Milanese di Medicina e Biologia*, seduta 13 dic. 1907.

Parallelamente il GUERRINI ha notato una iperfunzione ipofisaria conseguente alla fatica muscolare, il che si comprende pensando che la fatica muscolare determina la formazione di veleni; ond'è che il medesimo autore, aderendo al concetto da me espresso, e più sopra riportato, e fondandosi anche sui successivi reperti di TORRI, CAGNETTO, ecc., affermava anch'egli che la ghiandola ipofisaria è una ghiandola a funzione antitossica.

Nel quale concetto ci confermano anche due altri ordini di fatti: io ho potuto osservare cioè che nelle marmotte, durante il letargo invernale, si ha un rallentamento nei processi di secrezione dell'ipofisi, mentre al risveglio si ha una notevole ripresa di esso, anzi una vera iperfunzione, e come in altri organi si ha un rinnovamento del tessuto ghiandolare. Ora questi fatti sono l'indice istologico dell'attività funzionale e del successivo riposo cui questo organo va in preda, così come tutti gli altri organi ghiandolari, durante l'alternativa del risveglio e del letargo. Durante questo ultimo periodo, poichè in esso si ha una sospensione delle funzioni, vengono messi in circolo in minore quantità i prodotti tossici residui dell'attività biochimica dell'organismo e quindi anche l'ipofisi rallenta la propria funzione; al risveglio invece, con il risvegliarsi dei processi di ricambio, si riattiva anche la funzione antitossica. Si aggiunga a ciò che, come osservarono COMTE, LAUNOIS, MULON, durante la gravidanza l'ipofisi presenta i caratteri istologici indice di iperfunzionamento, il quale si manifesta anche qui con un aumento dei processi di secrezione. Il che si spiega agevolmente in modo consimile.

Un altro ordine di fatti conducenti alla medesima conclusione ci è fornito dal comportamento dell'ipofisi negli animali scapsulati totalmente, in quelli tiroidectomizzati e in quelli castrati.

BOINET e MARENGHI notarono una caratteristica ipertrofia ghiandolare nell'ipofisi degli animali ai quali essi avevano asportate le ghiandole soprarenali.

ROGOWITSCH, STIEDA, TIZZONI e CENTANNI dapprima, più di recente CIMORONI e BARNABÒ, osservarono una ipertrofia della ipofisi negli animali stiroidati.

E pure una ipertrofia dimostrarono FICHERA, GIORGI e BARNABÒ negli animali castrati.

L'ipertrofia in tutti questi casi fu interpretata come l'indice di una funzione compensatoria dell'ipofisi, la quale verrebbe così ad en-

trare nel grande gruppo di ghiandole a secrezione interna e a funzione prevalentemente antitossica.

Ad illustrare questi fatti si aggiungano i reperti della clinica e della anatomia patologica nella acromegalia, nel mixoedema e nel morbo di Basedow, specie per opera di Strumpell, Fraenckel, Caselli, Vassale, Carbone, Cagnetto, Salmon, ecc.

Per quanto riguarda l'acromegalia, se la maggior parte degli studiosi accoglie l'ipotesi di Marie, secondo la quale l'acromegalia è una distrofia dovuta ad una ipertrofia della ipofisi alterata in varia guisa (gliomi, processi degenerativi, sarcomi, ecc.), una folla di fatti non permette di accogliere questa tesi che vede un nesso causale tra tumore ipofisario e le alterazioni ossee caratteristiche di questa malattia. Infatti noi abbiamo di frequente lesioni dell'ipofisi senza che vi siano sintomi acromegalici, e per converso noi conosciamo casi di acromegalici nei quali non si avevano alterazioni dell'ipofisi. Di più, a volte, come ha dimostrato Strumpell, i fenomeni acromegalici precedono quelli del tumore; ond'è che si è condotti ad ammettere piuttosto che la causa dell'acromegalia sia una malattia del ricambio che conduce a processi patologici di accrescimento e ad alterazioni costituzionali ed in via coordinata all'alterazione dell'ipofisi. E, se anche noi non vogliamo accettare la tesi dello Strumpell, rimane pur sempre vero il fatto che nella acromegalia si ha una ipertrofia della ipofisi la quale contraddice all'ipotesi di Marie. Ed è appunto per questo fatto che il Tamburini fu condotto alla sua geniale teoria, secondo la quale l'iperfunzione della ipofisi cerebrale, allorchè si determina durante il periodo di accrescimento, quando cioè non si è avuta la ossificazione delle cartilagini epifisarie, determina un maggior sviluppo in lunghezza delle ossa, specialmente delle ossa degli arti, donde si ha il gigantismo (Woods, Hutchinson, Launoy, Roy); mentre l'iperfunzione della ipofisi, allorchè si inizia dopo avvenuta la ossificazione della cartilagini epifisarie, dà origine alle ipertrofie ossee caratteristiche della acromegalia.

Simili alterazioni, vale a dire simili processi iperplastici secondari della ghiandola ipofisaria, si riscontrano pure, come lo dimostrano le ricerche di Boyce, Ponfik, Beadles, Vassale, nel mixoedema, nel quale esse sono l'espressione della iperattività specifica della ghiandola conseguente allo stimolo esagerato dei prodotti tossici messi in circolo per l'alterato ricambio.

Così, concludendo, l'esperimento indiretto, il reperto clinico ed

anatomo-patologico convergono nell'assegnare alle due porzioni dell'ipofisi una speciale funzione e cioè *ne permette di ascrivere il lobo ghiandolare al gruppo di ghiandole ad azione prevalentemente antitossica e ne permette anche di assegnare al lobo nervoso una azione specifica sul sistema circolatorio e di ritenerlo un organo ancillare del rene.*

Assodati questi punti, mi parve necessario tentare nuovamente l'ablazione dell'ipofisi per studiare gli effetti della mancanza della funzione ipofisaria.

Poichè ora finalmente, dopo parecchi infruttuosi tentativi, sono riuscito nell'intento, do qui relazione dei resultati ottenuti.

Innanzi di descrivere questi, riassumo brevemente i resultati ottenuti per questa via dagli altri studiosi.

Horsley fu il primo a tentare l'ablazione della ipofisi, ma gli animali operati morirono tutti quanti durante la operazione. Nè resultato migliore ebbe Dastre, il quale pure tentò di arrivare sulla ipofisi per la via boccale.

Gley seguì una via affatto diversa. Praticato un foro nel punto mediano di una linea congiungente gli angoli posteriori delle due orbite, penetrava con un tre quarti attraverso il cervello sino alla sella turcica; dei due conigli così operati uno solo sopravvisse per un anno e l'autopsia dimostrò che la ipofisi non era stata distrutta. Gley tuttavia ritenne che i fenomeni presentati dall'animale fossero dovuti alla parziale lesione della ipofisi.

Gli autori che dopo di lui ritentarono il grave atto operativo ripresero la via boccale. Primo tra essi fu Marinesco che volle sperimentalmente provare il nesso che ipoteticamente, per influenza delle idee di Marie, si ammetteva tra l'ipofisi e l'acromegalia. Perforata la parte posteriore del palato con un termocauterio, Marinesco applicava una corona di trapano tra le due apofisi pterigoidee e distruggeva la ipofisi con un ferro rovente. Egli operò otto gatti, tre morirono per emorragia, due soccombettero 24 ore dopo l'atto operativo, tre sopravvissero per pochi giorni. Questi ultimi animali presentarono: notevole dimagramento progressivo, abbassamento della temperatura. L'autore non potè per altro escludere che questi fenomeni non fossero dovuti alla influenza della infezione cranica.

In seguito le ricerche per questa via furono riprese da VASSALE e SACCHI, i quali migliorarono notevolmente la tecnica usata da MARINESCO. Inciso il palato molle sulla linea mediana, a cominciare dal suo punto mediano di unione con il palato duro, per una estensione di tre o quattro centimetri, tenendo spostata la lingua con un filo passato attraverso la sua parte mediana e assicurati con quattro fili, due per parte, i lembi del palato molle così diviso, si ha allo scoperto la parte superiore dello spazio naso-faringeo. Con uno scalpello a becco di pappagallo escidevano tra le apofisi pterigoidee un lembo mucoso-periosteo che rovesciavano posteriormente. Poscia sulla linea mediana, con una sgorbia concava, riuscivano a staccare una scheggia ossea ed arrivavano sulla ipofisi che distruggevano con il termo-cauterio o con l'acido cromico.

VASSALE e SACCHI operarono con questo metodo 40 animali, 23 cani e 17 gatti. In 15 cani e in 16 gatti l'operazione riuscì, ma tra essi molti morirono di infezione e di emorragia, gli altri, in numero di 18, nei quali si potè escludere ogni causa di infezione, morirono nella prima settimana, ad eccezione di due gatti, dei quali uno sopravvisse otto giorni e l'altro undici giorni. Più tardi i medesimi autori ripeterono le loro esperienze sui cani; fra questi sono notevoli due casi. In uno la distruzione della ipofisi era stata completa e tuttavia l'animale morì solo dopo 37 giorni; in un altro la distruzione era stata incompleta e l'animale sopravvisse.

La morte in tutti questi animali ipofisiectomizzati avvenne con una sintomatologia che gli autori ritennero caratteristica e dovuta alla insufficienza ipofisaria. Notarono: abbattimento psichico, movimenti fibrillari nei muscoli, scosse ritmiche negli arti, abbassamento della temperatura, anoressia, morte; meno frequentemente notarono: rigidità del treno posteriore, incurvamento spiccato del dorso, convulsioni tonicocloniche di varia intensità.

A questi fenomeni principali sono da aggiungersi: accessi di dipsnea che per lo più seguono gli accessi convulsivi, anoressia alternata a grandi periodi di grande voracità, qualche volta vomito, polidipsia; temperatura subnormale, notevole e rapidamente progressivo il dimagramento. Questi fenomeni sono comuni agli animali operati di ipofisiectomia totale o parziale; tra gli uni e gli altri vi ha differenza solo nel periodo nel quale avviene la morte.

VASSALE e SACCHI tentarono di diminuire la gravità della feno-

menologia mediante le iniezioni di succhi e di estratti di ipofisi, e videro che realmente con esse la fenomenologia era meno imponente.

Da questi fatti trassero la conclusione che la ipofisi elabora una sostanza necessaria all'organismo e credettero di poter affermare che essa appartiene al gruppo di ghiandole la cui distruzione dà luogo alla formazione o anche solo all'aumento di speciali sostanze tossiche.

Resultati molto simili a quelli ottenuti da VASSALE e SACCHI furono ottenuti da GATTA ed anche da KREIDEL e BIEDL; per essi la mancata funzione dell'ipofisi dà luogo a deficienza della assimilazione nutritiva da parte del sistema nervoso e perciò si ha, come prima manifestazione della ipofisiectomia, la depressione psichica, alla quale segue debolezza muscolare caratterizzata dalla incoordinazione dei movimenti. La morte avviene per esaurimento. Si ha quindi secondo questi autori un quadro molto consimile a quello della cachessia strumipriva, somiglianza che fu rilevata per confermare i supposti rapporti tra ipofisi e tiroide.

Con molta maggior quantità di materiale studiò questo problema il CASELLI, il quale usò per animale di esperimento le rane, i conigli, i cani e i gatti. Data la grande eccitabilità del sistema nervoso delle rane, le quali secondo il CASELLI presenterebbero i medesimi enomeni con le lesioni della ipofisi e con le lesioni di altre differenti parti del cervello, questo A. abbandonò le rane; non trovò neppure adatti i conigli, sia perchè hanno la ipofisi in rapporti anatomici tali da non permettere di aggredirla con relativa facilità, sia ancora perchè questi animali nelle forme morbose presentano una fenomenologia poco caratteristica. Eseguì invece numerosissime esperienze sui cani e sui gatti.

Questo autore ritiene che non sia conveniente distruggere la ipofisi con un ferro rovente come fecero DASTRE e GLEY, perchè non è possibile limitare la lesione; riprova la distruzione con l'acido cromico usata da VASSALE e SACCHI in quanto che questa sostanza facilmente si diffonde per mezzo del liquido cefalo-rachidiano nei centri nervosi e nelle vie motorie vicine complicando di molto la fenomenologia. Sostiene inoltre che molti dei sintomi riscontrati da VASSALE e SACCHI sono dovuti ai traumi gravi che tale atto operativo importa. Egli mirò quindi a migliorare la tecnica operatoria allo scopo di escludere ogni causa di errore.

In una prima serie di ricerche tentò un metodo che poscia abban-

donò. Fatta una incisione a forma di V che, partendo alla base del padiglione dell'orecchio, discende in basso sino a raggiungere il margine della mandibola e risalendo in alto raggiunge un punto distante circa un centimetro dall'angolo esterno dell'orbita, distacca il lembo cutaneo, reseca la arcata zigomatica nei suoi punti estremi, reseca l'apofisi coronoide, e, distaccati con un periostotomo i muscoli dalle loro inserzioni al tavolato esterno del cranio, rende evidente la superficie ossea della fossa sfenopalatina. Con il mezzo della sgorbia pratica nel tavolato osseo un foro; aperto così il cranio, con uno scalpello apre la dura madre, poscia, sollevato dolcemente il lobo temporo-sfenoidale, con il mezzo di una piccola spatola introduce nella sella turcica un piccolo cucchiaino. Questo è fatto in modo che nel suo interno può girare un altro piccolo cucchiaio di diametro minore. Girando questo piccolo istrumento nella sella turcica CASELLI riusciva a distruggere la ipofisi.

Ben presto però abbandonò questo metodo elegante, ma che produceva disastri e si servì della tecnica usata da VASSALE e SACCHI dei quali modificò il metodo, avendo sopratutto di mira di evitare le gravi emorragie e i traumi.

I fenomeni che egli osservò negli animali così operati differiscono alquanto da quelli osservati dagli studiosi precedenti.

Egli operò 47 cani e 9 gatti. Grazie alla tecnica operatoria, i suoi animali sopravvissero maggiormente. I sintomi che essi presentavano erano depressione delle facoltà psichiche, disturbi di movimento, incurvamento del dorso, andatura spastica, assenza di contrazioni tonico-cloniche degli arti e degli accessi convulsivi, ed invece manifesta cachessia progressiva, da ultimo coma e morte. Inoltre di frequente notò polidipsia e polifagia alternata questa con anoressia. In base a questi fatti il CASELLI concluse che la ipofisi è un organo di alta importanza fisiologica, il quale per mezzo dei suoi prodotti regola nel circolo l'equilibrio di alcune sostanze tossiche.

Negli animali da lui operati rinvenne alterazioni del midollo spinale, degenerazione dei fasci piramidali, lesioni delle cellule delle corna anteriori. Egli ritenne che queste lesioni debbano attribuirsi ad una intossicazione e che in queste lesioni del midollo spinale si deve trovare la ragione della fenomenologia degli animali ipofisiectomizzati.

Quanto al rallentamento del respiro osservato da altri precedenti studiosi e quanto all'acceleramento del polso da lui trovato, egli crede

che debbano essere attribuiti alla diminuita pressione del liquido ventricolare sulla superficie del terzo e quarto ventricolo determinata in seguito alla mancata funzione della parte epiteliale dell'ipofisi.

Un fatto di grande importanza notato per la prima volta da questo studioso è la glicosuria. Questo fatto, se confermato, avrebbe grandissima importanza, perchè, come per i primi osservarono Rosenthal e Bernard, il diabete è talvolta accompagnato da tumori della ipofisi. Inoltre è da ricordarsi a questo proposito che Loeb osservò, il che fu confermato da Finzi e da Schlesinger, che l'acromegalia è di sovente accompagnata da glicosuria. Se si escludono quei casi nei quali, come fu osservato da Hansemann e da altri, il pancreas è alterato nella acromegalia, non rimarrebbe a pensare che il diabete è in rapporto con l'alterata funzione della ipofisi, che esso è dovuto ad un perturbamento nei centri glicogenici esistenti eventualmente nei pressi del *tuber cinereum* e della ipofisi. Non è qui il caso di ricordare tutti i fatti che rendono verosimile questa ipotesi. Basterà accennare che Caselli vide in essi la spiegazione della glicosuria degli animali ipofisiectomizzati. Egli pensa cioè che nel *tuber cinereum* esista un centro nervoso, la lesione del quale dà luogo alla glicosuria. Questa lesione è facile ad ottenersi nella ipofisiectomia.

Caselli conclude le sue ricerche affermando che la fenomenologia presentata dagli animali ipofisiectomizzati rappresenta la somma dei sintomi che si osservano in animali privati dell'apparecchio tiro-paratiroideo e in animali diabetici. Inoltre osservò che, qualora la asportazione della ipofisi è fatta su animali in via di sviluppo, si ha un notevole ritardo nel normale accrescimento del loro organismo. Ciò, secondo Caselli, concorderebbe con quanto è stato messo in luce dalla anatomia patologica. Infatti nei casi di cretinismo studiati da Schoenemann e da Coulon si aveva una notevole atrofia della ipofisi. È da osservarsi però che, se questi casi confermano le vedute di Caselli, altri sono ad esse manifestamente contrarî, in quanto che si aveva in essi una notevole ipertrofia dell'ipofisi. Tali sono quelli di Cecil Beadles e di Burckhardt.

Quasi contemporaneamente ai resultati delle ricerche di Caselli apparvero quelli di Friedmann e Maas, i quali si servirono di un metodo che nelle sue linee generali è simile a quello di Vassale e Sacchi. Essi invece della sgorbia usavano un trapano americano da dentista ed invece di distruggere la ipofisi con l'acido cromico la esportavano con

una fine pinzetta. Inoltre essi non allontanavano il sangue che fuoresce insieme con il liquido cefalo-rachidiano dopo la ipofisiectomia, che anzi pensavano che il coagulo da esso formato rappresentasse il miglior mezzo di chiusura della breccia ossea. Questi autori riferiscono, che avendo operato 15 gatti, in tre rimasero frammenti della ipofisi, e furono sacrificati in un periodo di tempo che va da due a quattro mesi. Degli altri 12 gatti, nei quali la ipofisiectomia fu totale, sei morirono in un periodo di pochi giorni per cause varie. Negli altri cinque, che morirono rispettivamente 15, 21, 22, 38 giorni dopo la operazione, all'autopsia non rilevarono alcuna causa di morte. Essi però non poterono escludere che la morte fosse dovuta ad una infezione settica perchè non praticarono l'esame bacteriologico.

Uno dei quindici gatti di Friedmann e Maas, nel quale l'autopsia dimostrò che la ipofisiectomia era stata totale, non presentò mai alcun fenomeno caratteristico e fu sacrificato dopo tre mesi e mezzo dall'atto operativo. Però anche questo caso presenta il fianco alla critica perchè non fu fatto lo esame istologico della sella turcica. È questo importantissimo, perchè, come osserva Vassale, qualche frammento può restare *in situ* o in mezzo al coagulo o nella breccia ossea e attecchire e seguitare a vivere e a funzionare. È una possibilità, un dubbio che subito si fa dinnanzi ai sei gatti che soccombettero senza causa apparente di morte. Questo disaccordo in quanti studiavano la ipofisi fece pensare di impiantare le esperienze in modo diverso.

Cyon, il quale aveva già compiute importanti ricerche sulla tiroide, volle applicare alla ipofisi gli importanti resultati ottenuti da lui in questo studio e nello studio della innervazione del cuore.

Non mi trattengo a riferire le sue esperienze nelle quali faceva iniezioni di succo ipofisario nella vena giugulare e quelle nelle quali eccitava meccanicamente ed elettricamente la ipofisi. L'A. con esse venne alla conclusione che la ipofisi secerne una sostanza la quale agisce eccitando il vago, e che l'eccitamento equivale all'eccitamento del vago.

Dimostrò inoltre che la estirpazione della ipofisi equivale alla sezione del vago. Infatti, determinando un rallentamento del polso mediante la compressione dell'aorta addominale, indi estirpando la ipofisi o sezionando il vago vedeva che tale rallentamento veniva a mancare. L'A. ne concluse che la eccitazione del centro del vago, provocata con l'aumento della pressione sanguigna, determinata per

mezzo della compressione della aorta, non viene causata dalla diretta azione della pressione sanguigna sul centro del vago, ma bensì da una azione riflessa dell'ipofisi su quel centro. L'ipofisi quindi avrebbe per funzione di regolare la circolazione cerebrale. Non è qui il caso di entrare nella discussione delle importanti indagini compiute su questo punto da questo studioso, mi basti accennare che esse furono contradette da CASELLI e da GAGLIO.

Quest'ultimo ripetè sulle rane, alle quali aveva esportato da più o meno lungo tempo la ipofisi, le esperienze di CYON e vide che i centri bulbari degli animali, così operati, si presentavano così bene eccitabili agli aumenti della pressione quanto quelli degli animali normali.

Oltre servirsi della compressione della aorta addominale, GAGLIO avvelenava con della stricnina delle rane normali e delle rane mancanti di ipofisi e in tutte potè constatare che, durante gli accessi convulsivi, si ha un rallentamento e poi un arresto dei battiti del cuore, il che prova che la stricnina eccitava egualmente bene le origini bulbari del vago, tanto nelle rane normali, quanto in quelle ipofisiectomizzate. Ne segue quindi che per GAGLIO la ipofisi non ha la azione sulla circolazione cerebrale ammessa da CYON.

Le esperienze di GAGLIO sono interessanti anche semplicemente per i resultati della estirpazione della ipofisi. Questo autore operò rane, rospi e testuggini. Fra le rane una sopravvisse 47 giorni; un'altra 95; il metodo seguito fu la via boccale; l'ablazione fu completa. I rospi non si prestarono perchè morirono tutti per infezione. Operò noltre 10 testuggini delle quali 5 sopravvissero per 8 mesi senza aver presentato alcun fenomeno degno di nota.

Dinnanzi a questa diversità di resultati, LOMONACO e VAN RYNBERK pensarono di usare di un altro metodo ed utilizzarono il metodo da essi adoperato per lo studio della fisiologia del corpo calloso e dei talami ottici. Data con questo lavoro la dimostrazione che la legatura del seno longitudinale e il consecutivo taglio di esso e della gran falce del cervello, seguito alla sua volta da quello del corpo calloso, non produce sugli animali così operati alcun pericolo per la loro vita, si trovavano spianata la via qualora, dopo essere penetrati nel terzo ventricolo, avessero con uno strumento adatto perforato lo infundibolo e asportata la ipofisi e le lesioni, che in questo caso si sarebbero osservate, si sarebbero dovute attribuire uuicamente alla mani

canza della ipofisi. Fatti però i primi tentativi, si accorsero che potevano fare a meno della legatura del seno longitudinale. Essi procedevano in questo modo: fatta una breccia ossea nella volta cranica, aprivano la dura madre lateralmente al seno longitudinale e introducevano per questo foro, lungo la grande falce del cervello, un piccolo strumento a sottile e lungo manico avente la estremità ricurva e foggiata a cucchiaio con margini ottusi.

Questo piccolo strumento con la sua parte concava rivolta verso la falce era abbassato perpendicolarmente fino alla base del cervello dopo aver perforato il corpo calloso e l'infundibolo. Avendo cura di far penetrare il cucchiaio nel punto di mezzo di una linea trasversale che dalla parte anteriore del padiglione dell'orecchio va al lato opposto si può essere sicuri di cadere sulla scanalatura ossea che porta alla sella turcica e direttamente dentro di essa. Allora non resta altro che imprimere al manico del cucchiaio un movimento uguale ad un quarto di giro in modo che la parte concava dello strumento possa penetrare meglio nella cavità della sella turcica. In seguito si manovra l'istrumento in modo tale da schiacciare e ridurre in poltiglia tutto quanto si trova dentro la sella turcica. Fatto ciò si fa riprendere al cucchiaio la posizione primitiva per ritirarlo dalla massa cerebrale. Un doppio strato di sutura ed una opportuna fasciatura evitano quasi sempre il pericolo di infezione. La complicanza possibile, e abbastanza frequente, è la emorragia dei vasi della base del cranio.

Gli animali che Lomonaco e Van Rinberk operarono in questo modo furono 49. In 5 di essi non venne fatta la autopsia; in 16 la operazione non riuscì o solo parzialmente; essa venne completamente esportata in 28 animali. Tra gli operati solo 9 sopravvissero più di 20 giorni. In tutti questi lo strumento era penetrato fino alla base del cervello perforando il corpo calloso e mettendo in comunicazione per mezzo di una larga via il terzo ventricolo con la base del cervello.

Il che prova che la lesione dell'infundibolo è compatibile con la vita e che per il solo fatto della apertura di esso non avvengono fatti di compressione tali da mettere in pericolo la vita dell'animale; con molta probabilità questa via infundibolare viene presto ad essere chiusa da coaguli e più tardi da tessuto connettivale neoformato. Lomonaco osservò inoltre che i resultati ottenuti presentano interesse per il fatto che negli animali sopravvissuti per più di 20 giorni, l'autopsia dimostrò che la ipofisi non esisteva più.

Ma qui una osservazione si presenta ovvia. Rileggendo il diario del cane N. 2 e comparandolo con quello del cane N. 3, si resta sorpresi della antitesi che si osserva nei sintomi che apparvero dopo la operazione. Mentre nel N. 3 la sintomatologia fu assai simile a quella osservata da Vassale e Sacchi, nel N. 2 invece lo stato generale organico e psichico, stabilitosi dopo la operazione, faceva l'impressione che la ipofisi non doveva essere stata lesa. L'autopsia invece dimostrò che mentre nel primo caso la ipofisi era integra, nel secondo mancava completamente.

Ancora un altro fatto. Caselli aveva osservato che nei cani ipofisiectomizzati le orine hanno un peso specifico basso che sta in rapporto con la polidipsia presentata dagli animali. Ora Lomonaco e Van Rynberk riscontrarono questo fatto nel cane N. 3, le orine del quale avevano il peso specifico di 1003, mentre in quelle del cane N. 2 il peso specifico era 1002.

E ancora in un gatto (N. 17) si riscontrarono i fenomeni che dagli autori sono attribuiti alla insufficienza ipofisaria, mentre in esso l'operazione non era riuscita.

Istruttivi poi sono i fenomeni osservati negli animali nei quali, anzichè la ipofisi, furono lese le parti circostanti del cervello. Così mentre le lesioni delle parti laterali della sella turcica non davano fenomeni caratteristici (cane 17), le lesioni per es. delle parti anteriori (chiusura ottica, nervi ottici) dava la cecità, ecc.

I fenomeni osservati da Vassale e Sacchi e da Caselli furono da essi riscontrati negli animali nei quali, oltre la ipofisi, erano state lese le parti del cervello che erano posteriori ad essa. Quando finalmente il cucchiaio era penetrato esclusivamente nella sella turcica non si riscontrarono fenomeni di nessun genere.

Lomonaco e Van Rynberk conclusero dai loro esperimenti di essere riusciti a tenere in vita animali i quali erano sopravissuti lungo tempo alla operazione che li aveva privati della ipofisi. Essi conclusero che queste esperienze sono sufficienti a dimostrare che la ipofisi non ha una funzione tale la cui abolizione porti come conseguenza dei disturbi nell'organismo, nè la morte dell'animale e pensano che i fenomeni riscontrati dagli autori precedenti debbono forse attribuirsi a lesioni contemporanee delle parti posteriori alla ipofisi e non già, come avevano creduto Friedmann e Maas, all'asfissia prodotta dalla paralisi della arcata palatina.

Successivamente, in una nuova pubblicazione nella quale riassunse brillantemente quanto era stato determinato a proposito dei rapporti tra ipofisi, acromegalia e mixoedema, Vassale trattò di nuovo la questione della abolizione della ipofisi criticando il metodo di Lomonaco e Van Rynberk, ai quali egli mosse la grave obbiezione che, se la tecnica da essi usata è facile, pur tuttavia essa non dà quella sicurezza di resultati che in esperimenti di questo genere è pur tanto necessaria. È naturale infatti che lo spappolamento dell'organo non equivale alla esportazione della ipofisi, poichè a buon diritto si può sospettare che negli animali sopravvissuti piccoli frammenti rimasti *in situ* abbiano potuto salvare l'organismo dalla cachessia ipofisipriva, Vassale crede che a malgrado dei gravi inconvenienti che il suo metodo presenta per il pericolo della infezione cranica, esso sia il migliore come lo dimostrano le esperienze del Caselli, il quale riuscì a vedere sopravvivere i suoi animali per un periodo di tempo abbastanza lungo. Vassale poi riafferma il concetto della necessità per l'organismo di questo organo, come lo dimostrano i casi nei quali alla esportazione completa corrispondevano sintomi che egli ritiene specifici della insufficienza ipofisaria.

Nel 1902 Friedmann riprese le esperienze che già aveva fatte insieme con Maas e potè confermare le conclusioni del precedente lavoro, poichè tre gatti, nei quali la esportazione era stata completa, sopravvissero a lungo senza mai presentare fenomeni speciali.

A resultati contrarî a questi venne Pirrone, il quale seguì un metodo simile a quello usato da Caselli nelle sue prime ricerche e che per brevità tralascio di riferire. Egli afferma di aver compiuta la ipofisiectomia in modo completo in 6 cani i quali tutti morirono in breve tempo (12-16 giorni). I sintomi che i suoi animali presentarono vennero ritenuti caratteristici e dovuti alla mancanza di funzione della ipofisi. Nei cani questo autore vide che, dopo la ablazione della ipofisi, si aveva un acceleramento del polso, tosto seguito da un rallentamento che durava due o tre giorni, e un pronto abbassamento della temperatura, la quale dopo alcuni giorni ritornava ad essere normale. Si aveva inoltre nei suoi animali una rigidità del treno posteriore, incurvamento della colonna vertebrale, andatura paretico-spastica, contrazioni fibrillari e contrazioni tonico-cloniche degli arti. Inoltre il Pirrone ritenne che alcuni fenomeni sono realmente dovuti alla ipofisiectomia, tali il dimagramento notevole e progressivo, la

depressione psichica, i disturbi della motilità, la cachessia, la morte, mentre altri sintomi, e cioè quelli riguardanti il sistema circolatorio, l'apparecchio respiratorio e le modificazioni della temperatura, sono dovuti all'atto operativo in sè.

Il PIRRONE concludeva affermando che la ipofisi è un organo indispensabile per l'organismo animale e che la sua ablazione determina la morte.

In seguito il DALLA VEDOVA pubblicò due lavori, nel secondo dei quali infirmò il valore delle conclusioni del primo. Con un metodo che essenzialmente è ancora quello di VASSALE e SACCHI, modificato lievemente, operò 25 cani. Nella prima nota, basandosi sul fatto che quattro animali erano sopravvissuti a lungo senza presentare alcuno dei fenomeni che gli autori succitati ritengono proprî degli animali ipofisiprivi, concluse che gli animali possono sopportare senza alcun inconveniente la ipofisiectomia. Ma in una seconda nota ritornò sull'argomento e modificò completamente le proprie conclusioni, perchè mercè l'esame istologico di tutta la sella turcica e del suo contenuto potè constatare che in questi animali esistevano piccoli frammenti di tessuto ipofisario, ossia la ablazione della ipofisi non era stata completa. Inoltre si decise a dare importanza a quattro altri casi, prima trascurati, dai quali per il fatto che la ablazione della ipofisi era stata completa e che non era dimostrabile alcuna causa di morte, trasse motivo per confermare i resultati delle ricerche di VASSALE, SACCHI, CASELLI, PIRRONE, ecc. Ma come giustamente osserva FICHERA, questa conclusione ne appare affrettata, sia per il fatto che di questi animali non fu fatto l'esame istologico ad escludere che frammenti di ipofisi fossero rimasti *in loco,* sia per il fatto che non è affatto vero che in essi non fu riscontrata alcuna causa di morte, perchè l'esame critico dei protocolli riferiti dallo stesso DALLA VEDOVA dimostra che questi animali morirono per tutt'altra causa che per la mancanza della funzione ipofisaria.

Ad evitare le complicanze incontrate dagli esperimentatori precedenti; FICHERA tentò una via diversa da quella usata dagli altri sperimentatori.

Per distruggere la ipofisi in breve tempo, senza demolizioni gravi ed estese e senza probabilità di infezioni, questo autore operò sui polli; perchè questi animali, nei quali riuscì facilmente a praticare il metodo adottato, hanno la ipofisi notevolmente sviluppata e non sono

stati mai utilizzati per questa ricerca. Il metodo era il seguente. Mediante un'opportuna incisione giungeva a raggiungere le pareti del faringe, risaliva lungo le pareti di questa verso la base cranica e raggiungeva sulla linea mediana lo sfenoide basilare, cui poscia perforava mediante un termocauterio, penetrava di poi nella sella turcica, investiva la ipofisi e la carbonizzava. In questo modo evitava di mettere in comunicazione la cavità cranica con la cavità boccale, evitava il pericolo di portare la infezione in questa. Degli animali operati, in quattro la distruzione era completa e controllata dall'esame istologico. Questi animali sopravvissero all'atto operativo senza presentare i fenomeni caratteristici della cachessia ipofisipriva. Secondo il FICHERA i disturbi immediati alla distruzione totale o parziale della ipofisi trovano spiegazione nel trauma stesso dell'atto operativo. Disturbi tardivi tipici in generale mancano; solo negli animali giovani questo autore ha notato un ritardo od un arresto nello sviluppo. Egli però osserva che questo fatto potrà essere messo in rapporto unico e costante con la distruzione della ipofisi solo dopo constatazioni più numerose.

Un'altra via nuova, benchè non intieramente nuova, fu tentata da PAULESCO in questi ultimi tempi. È questa la via temporale. Consiste il processo di questo autore nell'incisione e nello scollamento del muscolo temporale di ambedue i lati, resezione dell'arcata zigomatica di destra, apertura di due finestre nell'osso temporale di ambedue i lati, l'una a sinistra piuttosto piccola, l'altra a destra comprendente tutta la regione temporale, spostamento della massa cerebrale verso la parte opposta del cranio, sollevamento della massa cerebrale, scollamento e ablazione della ipofisi. Questo autore ha osservato che, allorchè l'ablazione è totale, la morte dell'animale è sollecita (in media dopo 24 ore), mentre bastano piccoli frammenti di tessuto ghiandolare a salvare l'animale e a fare sì che esso possa vivere indefinitivamente.

L'insufficienza del funzionamento dell'ipofisi in seguito alla ipofisiectomia totale o parziale non si manifesta con alcun sintomo particolare e caratteristico e nel caso di sopravvivenza prolungata non si produce alcun disturbo trofico apprezzabile alle estremità (muscoli, arti).

PAULESCO ha osservato inoltre che l'ablazione del lobo nervoso è compatibile con la vita e non dà luogo ad alcun fenomeno apprezzabile. La separazione della ipofisi dalla sella turcica è un operazione

anodina, mentre la separazione della ipofisi dalla base del cervello è corrispondente alla ipofisiectomia totale o quasi totale. In conclusione, secondo PAULESCO, l'ipofisi è un organo indispensabile per la vita poichè la sua mancanza è rapidamente mortale.

È però anche in questo caso da osservarsi che le vaste demolizioni che questo metodo richiede son di tale natura da non permettere di sceverare ciò che deve essere attribuito alla ipofisiectomia in sè e ciò che deve essere attribuito all'atto operativo.

***

Non vi ha certo bisogno di dimostrare che le contraddizioni tra le conclusioni degli autori che hanno tentato l'ipofisiectomia sono numerose e gravi. I metodi seguiti furono cinque o almeno a un tale numero si possono ridurre agevolmente le varie modificazioni tentate. Si seguirono cioè la via faringea (DASTRE, MARINESCO, VASSALE, SACCHI, GATTA, GAGLIO, FRIEDMANN, MAAS, DALLA VEDOVA); la via sfeno-palatina (CASELLI, PIRRONE); per la volta cranica (GLEY, LOMONACO e RYNBERCK); la fossa temporale (PAULESCO); la via faringea (FICHERA).

Assai diverse sono le conseguenze dell'ipofisiectomia; secondo alcuni l'animale non sopravvive che per un breve periodo di tempo, che va da 24 ore (PAULESCO) a 37 giorni (VASSALE e SACCHI) e persino a 53 giorni (DALLA VEDOVA); secondo altri l'animale può sopravvivere indefinitamente (LO MONACO, VAN RYNBERCK, FICHERA, FRIEDMANN, MAAS, GAGLIO): ma nemmeno tra coloro che ritengono che la ipofisiectomia sia mortale vi è accordo.

La varietà dei sintomi descritti non potrebbe essere maggiore. VASSALE e SACCHI, PIRRONE trovano che gli animali così operati sono abbattuti, apatici, sonnolenti, ma DALLA VEDOVA e PAULESCO, negano che questi fenomeni siano caratteristici; i movimenti fibrillari, le scosse muscolari, l'incurvamento del dorso, la rigidità della nuca e del treno posteriore, l'andatura paretico-spatica, veduta da VASSALE, SACCHI, PIRRONE, CASELLI, ecc., sarebbero negati, almeno come fenomeni caratteristici, da altri (DALLA VEDOVA, PAULESCO) che li ritengono fenomeni transitorî.

VASSALE E SACCHI trovano che gli animali ipofisiectomizzati presentano poliuria, GATTA trova albuminuria, CASELLI per il primo vede che nell'urina degli animali operati vi ha lo zucchero, e invece PIR-

RONE, PAULESCO, DALLA VEDOVA non trovano nè albumina nè zucchero. Nè accordo maggiore vi ha a riguardo dei risultati delle parziali demolizioni dell' ipofisi.

Mentre DALLA VEDOVA e PAULESCO ritengono che frammenti, anche microscopici, di ipofisi possano salvare l'animale operato, VASSALE e SACCHI ritengono che la demolizione anche di una metà della ipofisi basti a condurre l'animale, dopo un periodo di tempo più o meno lungo, a morte, la quale è preceduta da caratteristici sintomi di cachessia.

Tale essendo lo stato della questione, io ho creduto opportuno riprendere queste esperienze.

Già alcuni anni or sono, come già ho detto, io avevo tentato a più riprese l'ipofisiectomia. Mi sono servito a questo scopo dapprima del metodo di VASSALE e SACCHI, poscia avevo anche ideato un metodo assai analogo a quello che più tardi fu usato da PAULESCO. Animali preferiti erano cani, gatti e conigli.

I miei animali morivano tntti quanti in un periodo variabile da 7 ad 8 giorni; alcuni però sopravvissero sino a 30 giorni. Essi presentavano una sintomatologia varia. Ora si aveva il quadro completo descritto dagli autori (VASSALE, SACCHI, PIRRONE) ora si aveva il quadro di CASELLI, ora quello di PIRRONE, ora erano solamente cachettici. Varî erano i disturbi motori. In alcuni casi si aveva rigidità degli arti posteriori, incurvamento del dorso, rigidità della nuca, contrazioni fibrillari, contrazioni tonico-cloniche dei muscoli; in altri casi questi fenomeni si presentavano isolati o diversamente e variamente associati.

I disturbi psichici erano più costanti. Gli animali erano abbattuti, apatici, sonnolenti; gatti feroci prima dell'atto operativo, divenivano mansueti. Quanto al sistema respiratorio talvolta, raramente però, si aveva rallentamento del respiro nei giorni immediatamente seguenti l'atto operativo. Quanto al sistema digerente, l'anoressia era costante nei primi giorni, qualche volta in seguito compariva bulimia, polidipsia.

Frequente era la poluria, qualche volta accompagnata da comparsa di zucchero e qualche volta invece di albumina.

La temperatura era notevolmente abbassata in modo pressochè costante nei primi giorni dopo l'atto operativo.

Naturalmente, data questa variabilità nella sintomatologia, non mi abbandonò mai il sospetto che essa non fosse caratteristica, e che

l'insorgere dei suddescritti fenomeni fosse dovuto a cause ben diverse dall'ablazione dell'ipofisi.

Instituii allora delle ricerche di controllo e sottoposi varî animali ai medesimi atti operativi lasciando però intatta la ipofisi. In molti casi vidi insorgere i medesimi fenomeni. Alcuni animali però guarirono perfettamente in alcuni giorni, il che si può spiegare pensando che, allorchè si è aperta la cavità cranica, si compiono per asportare la ipofisi manovre tali che sono di natura siffatta da ledere, più o meno profondamente, a seconda dei casi, le parti circostanti. Ora, poichè non è sempre possibile nelle esperienze evitare tali manovre, si comprende come si abbiano differenze nella sintomatologia.

D'altra parte le differenze nella sintomatologia negli animali operati con i varî metodi si può spiegare pensando alla diversità della tecnica usata; in alcuni casi, come in quegli animali che sono operati per la via temporale, la demolizione è così imponente che di per sè rappresenta un grave danno per l'animale; negli animali operati per la via della bocca sono frequenti le infezioni attraverso la breccia praticata nello sfenoide.

Di più lo stesso metodo usato nella distruzione dell'ipofisi può essere causa di differenze nella sintomatologia. Così ad esempio l'uso dell'acido cromico (Vassale e Sacchi) non si sottrae alla obbiezione che esso si diffondae provo chi lesioni delle parti circostanti. Ne è facile inoltre il trasporto per mezzo del liquido cefalo-rachidiano e per i linfatici. Non vale a riparare questo inconveniente il punzecchiare la ghiandola con una pipetta capillare ripiena di acido cromico, come suggerì di fare Vassale in una ulteriore nota. Non vale questo espediente perchè, come osserva Fichera, rimane sempre il dubbio che piccole parti di tessuto ipofisario sfuggano all'azione necrotizzante della cauticazione onde la distruzione può essere incompleta.

Cieco è l'uso del termocauterio, quindi sconsigliabile.

Si osservi poi che alcuni fenomeni insorgono tanto rapidamente che non si sa comprendere come essi possano essere manifestazione della mancata funzione ipofisaria.

La comparsa di zucchero nelle orine si può spiegare solo che si pensi alla possibilità di produrre lesioni delle parti circostanti del cervello (*tuber cinereum*, terzo ventricolo, ecc.).

In seguito io pensai di adottare il metodo di Lomonaco e Van Rynberk, ma lo abbandonai tosto perchè esso non sfugge alla ob-

biezione che lo spappolamento non equivalga l'ablazione e per il fatto che non è possibile aver tosto un controllo diretto del resultato dell'atto operativo, non essendo possibile constatare se tutta la ipofisi è stata distrutta.

Se tutte queste ragioni mi confermavano nella opinione che la fenomenologia non fosse caratteristica della insufficienza ipofisaria, d'altra parte non potevo trascurare il fatto che i casi di Vassale e Sacchi e quelli di Dalla Vedova dimostravano che la distruzione totale dell'ipofisi era mortale, mentre piccole porzioni di tessuto bastavano a salvare l'animale.

Inoltre le esperienze indirette più sopra riferite dimostravano che l'ipofisi è un organo necessario alla economia dell'organismo animale, sia come organo a funzione antitossica (lobo ghiandolare), sia come organo ancillare del rene (lobo nervoso).

Risolvetti quindi di riprendere le ricerche e, dopo numerosi tentativi infruttuosi, riuscii ad ottenere resultati che possono essere ritenuti positivi. La ragione di tale successo forse si deve, più che ad altro, ad un miglioramento personale della tecnica preparatoria, miglioramento ottenuto mercè il lungo esercizio.

Incominciai questa nuova serie di ricerche adottando come animale di esperienza le rane.

Come osservò Gaglio, le gravi difficoltà che si incontrano nella ipofisiectomia operando sui mammiferi sono facilmente superate operando sulle rane, nelle quali la ablazione dell'ipofisi riesce in un modo del tutto ideale.

La tecnica seguita era la seguente: Anestetizzata la rana con vapori di etere solforico tenendo l'animale per alcuni minuti sotto un imbuto di vetro, la legavo tenendola sul dorso sopra di una tavoletta di sughero. Mantenevo aperta la bocca mediante un piccolo apparecchio in legno che mi sono costrutto da me stesso e che serviva in pari tempo a tenere la testa fissa alla tavoletta nella posizione voluta. Spostavo la lingua tenendola fissa con un filo: facevo una incisione mediana della lunghezza di due centimetri sulla volta della bocca: scollavo i margini della mucosa e mettevo a scoperto l'osso parabasale. Questo ha la forma di una croce e presenta perciò un facile punto di repere. Con una piccola sgorbia ne facevo saltare una scheggia della parte centrale e riuscivo così a mettere a scoperto la faccia inferiore del cervello. Ben presto però mi convinsi che la sgorbia, per quanto

usata con precauzione, era un istrumento infido e mi servii di un trapano dalla corona di due mm. circa. Come osserva giustamente il GAGLIO, tolta la rotella ossea, ne appare poco al disopra del bulbo, attraverso la sottile dura madre, l'ipofisi. Basta allora incidere longitudinalmente la dura madre, afferrare la ipofisi con una pinza. L'ablazione avviene allora con la massima facilità. Rimessa a posto la rotella, suturavo i lembi della mucosa. Le rane operate erano: *Rana temporata*, *Rana esculenta*.

Fra le molte rane che operai in questo modo la maggior parte perì per accidenti varî, il più frequente dei quali fu l'infezione della cavità cranica. Però riuscii a mantenerne in vita parecchie. Di queste vissero rispettivamente 72, 75, 82, 90, 120, 140 giorni e morirono per cause estranee, varie, accidentali. Altre 5 furono sacrificate dopo 4 mesi dall'atto operativo; altre furono sacrificate dopo un anno. Ciò fu fatto per poter compiere l'esame istologico a dimostrare che l'ablazione dell'ipòfisi era stata completa. Altre quattro sono vive ancora oggi dopo un anno e mezzo dall'atto operativo.

L'ipofisiectomia nelle rane è un atto operativo assai facile, se si ha cura di seguire con esattezza la tecnica da me indicata. Si può fare in modo che non vi siano emorragie; sollecitamente la ferita si rimargina e dopo poche ore le rane sono vispe e vivaci.

Confortato da questo successo, ritornai a tentare la ipofisiectomia sui mammiferi.

Ho scelto il metodo VASSALE e SACCHI e ho adottato le modificazioni di tecnica che furono successivamente proposte da FRIEDMANN e MAAS, da CASELLI e da DALLA VEDOVA. Questo metodo ha certamente degli inconvenienti di una certa importanza, ma è relativamente facile l'ovviare ad essi; in ogni caso essi sono certamente meno gravi di quelli presentati dagli altri metodi. Un breve confronto mostrerà a chiare note l'esattezza di questa affermazione.

Infatti il metodo di GLEY e quello di LOMONACO e VAN RYMBERK sono metodi ciechi in quanto che l'operatore non può essere conscio di ciò che il suo istrumento ha demolito, di modo che può cessare di operare quando ancora alcuni frammenti della ghiandola sono sfuggiti allo spappolamento; di più, come già ho osservato, questi due metodi non sfuggono alla grave obbiezione che lo spappolamento non equivale certo alla distruzione.

La via sfeno-palatina e la temporale producono demolizioni troppo

importanti e troppo gravi perchè l'animale resista al grave atto operativo. Di più io mi sono convinto che è tutt'altro che facile alzare il lobo temporale di tanto da permettere all'operatore di vedere l'ipofisi e di giungere sopra di essa con gli istrumenti. Si osservi poi quanto grande facilità vi ha di ledere la carotide che si trova al fianco e all'avanti e si comprende tosto quali difficoltà si incontrano con questi due metodi.

Il metodo di FICHERA è veramente elegante, ma io non sono riuscito ad usarlo con i mammiferi; tuttavia io debbo notare che la mia esperienza in proposito è troppo scarsa perchè possa pronunciare un giudizio sicuro. Per tutte queste ragioni io ho preferito la via boccale, la quale mi riusciva più facile anche per il fatto che io aveva in antecedenza compiute numerose ipofisiectomie per questa via ed ero, come ho detto più sopra, giunto a tenere l'animale in vita un certo periodo di tempo. Di più con l'esercizio ero giunto a praticarla con rapidità e con sicurezza.

Scelsi come animale da esperimento il gatto e ciò per considerazioni di vario ordine. Il gatto ha una conformazione della bocca che si presta assai bene per l'applicazione del trapano sul basisfenoide; il cane, almeno nelle razze più comuni, hà il muso assai lungo; ond'è che solo con grande difficoltà si arriva con gli istrumenti nel fondo della bocca. Per questa medesima ragione non sono consigliabili i roditori.

Il cane poi presenta una particolarità anatomica per la quale l'atto operativo è assai più difficile che nel gatto. In questo ultimo animale l'ipofisi è racchiusa in una loggia osteo-fibrosa; il che è dovuto al fatto che le pareti della sella turcica sono assai rilevate sul fondo della sella turcica profondamente scavata nello sfenoide, nel cane invece questa loggetta manca. Ond'è che, allorchè con gli istrumenti si tenta la esportazione della ipofisi dopo di essere penetrati nella cavità cranica, nel cane è facile ledere le parti circostanti, il che è assai meno frequente nel gatto.

Inoltre scelsi come animale da esperimento il gatto perchè mi occorreva avere, per le ragioni che indicherò in appresso, animali del medesimo peso ed età. Ciò evidentemente è più facile con questo animale.

La tecnica seguita fu la seguente:

Praticata all'animale una iniezione di cl. di morfina (un ctgr. per

ogni kgr. di peso) procedevo alla cloronarcosi e fissavo l'animale in decubito dorsale sul tavolo operatorio. Con delle funicelle assicuravo per mezzo dei denti la mascella inferiore e superiore, mettevo un cuscinetto sotto la testa e così ottenevo la massima apertura possibile della bocca.

La volta palatina era così mantenuta declive in modo da ottenere lo scolo dei liquidi. Fissavo la lingua per mezzo di una pinza e la tiravo all'esterno e in basso. Lavata accuratamente la bocca, procedevo, osservando scrupolosamente le comuni norme asettiche ed antisettiche, all'atto operativo. Facevo dapprima una incisione lungo la linea mediana, attraverso il palato molle, della lunghezza di tre o quattro centimetri. Sollevavo i lembi della incisione e li assicuravo mediante due piccolissime pinze che mi sono fatto fabbricare. Seguendo le norme date da DALLA VEDOVA, riconoscevo la volta faringea fino all'impianto del vomere; con un batuffolo allontanavo il muco che abitualmente la riveste e incidevo per un centimetro e mezzo sulla linea mediana in modo che il centro dell'incisione avesse ad intersecare la linea che unisce i margini posteriori delle apofisi pterigoidee. Poscia, scollata un poco la parete faringea, scollavo pure il periostio e mettevo a nudo lo sfenoide. Questo osso nel gatto è composto nell'animale adulto da due parti: il presfenoide e il basisfenoide. È quest'ultimo che forma il pavimento della sella turcica, quindi è su esso che bisogna portare il trapano. Per riconoscerlo si fa in questo modo: si riconosce con una tenta una piccola cresta che è presentata dal basisfenoide e che è assai manifesta. Dove cessa questa cresta, vi ha una sutura che unisce il presfenoide con il basisfenoide; essa negli animali giovani è assai manifesta e presenta un piccolo disco cartilagineo facilmente riconoscibile per il suo colore biancastro. Seguendo la linea mediana, si trova quasi sempre un piccolo foro che gli autori LUSCKHA, LANDZERT, ROMITI, MAGGI, SUCHANEK, GIACOMINI, ROSSI, SOKOLOW, ecc., interpretarono come il residuo del canale cranio-faringeo. È in questo punto che si deve fare la craniectomia.

Io ho usato a questo scopo a volte una sgorbia, a volte una corona di trapano. Il primo istrumento ha il vantaggio di permettere di fare con facilità una breccia con il diametro massimo parallelo alla linea mediana dello sfenoide. Il secondo ha il vantaggio di essere applicato con minore difficoltà e con maggiore esattezza. A volte io

ho allargato con una sgorbia il foro ottenuto con il trapano. La breccia era di grandezza varia a seconda della età e dello sviluppo dell'animale; oscillava tra 4-6 mm. di larghezza e 6-7 mm. di lunghezza. Si ha quasi sempre una emorragia di poca importanza frenabile con il tamponamento. Allorchè si è aperto anche il tavolato interno si scorge la dura madre; la si incide sulla linea mediana; indi con una pinza o con un cucchiaio si esporta la ipofisi. È questo il punto delicato dell'atto operativo; solo l'esercizio fa acquistare la tecnica sufficiente. È necessario con lo strumento rivolgersi verso la parte posteriore della sella turcica entro la quale sta annidata la ipofisi. Questa per lo più si può estrarre, con un po' di cura, tutta intiera; a volte si divide nei suoi due lobi. L'emorragia che segue è di lieve momento; fluisce abbondante il liquido cefalo-rachidiano. Di poi cercavo di rimettere a posto i lembi della dura madre, otturavo accuratamente con mastice inglese dei dentisti, suturavo la breccia del palato molle, ripulivo accuratamente e applicavo uno strato di collodion allo iodoformio.

A riguardo degli inconvenienti che possono seguire l'atto operativo è da osservarsi che l'emorragia è certamente quello che è più frequente e molesto. L'apertura dei seni è disastrosa ed io ho preso l'abitudine di abbandonare senz'altro gli animali nei quali si verificava tale accidente e me ne servivo per altro scopo. Nè conviene ricorrere al tamponamento per procedere in secondo tempo alla ablazione dell'ipofisi, perchè come osserva il Dalla Vedova, esso è seguito quasi sempre da complicanze infettive. L'emorragia della diploe è meno grave, ma assai molesta. Contro questa mi serviva assai bene l'adrenalina.

Con questo metodo io ho operato molti gatti; ma solo di otto io intendo tener conto, perchè solo in questi l'atto operativo non ebbe alcuna complicanza, perchè in essi l'esame istologico dimostrò che l'ipofisiectomia era realmente stata completa.

Accenno il decorso operativo solo di questi.

L'atto operativo procedette senza inconvenienti di sorta. Questi animali, tenuti a digiuno per 24 ore, durante questo periodo di tempo giacevano apatici e sonnolenti, non presentavano nè scosse fibrillari, nè contrazioni muscolari, nè rigidità del treno posteriore, nè incurvamento del dorso. Trascorse le 24 ore incominciarono a muoversi, a reagire agli stimoli esterni; nei primi giorni si ebbe a notare no-

tevole dimagramento, dovuto più che ad altro al fatto che la deglutizione era assai difficile e molesta. Tutti quanti, dopo quindici giorni, avevano ripreso le loro abitudini, erano divenuti vispi. La temperatura bassa nelle prime 24 ore era di poi ridivenuta normale. Notai poliuria e polidipsia nei primi cinque o sei giorni.

Non avendo questi animali presentato alcun fenomeno degno di nota fra quelli descritti dagli autori come effetti della ipofisiectomia, ne sacrificai quattro dopo sei mesi dall'atto operativo; quattro dopo dieci mesi.

Procedetti all'autopsia e all'esame istologico del contenuto della sella turcica per assicurarmi che l'ablazione era stata realmente completa.

In sette l'ipofisiectomia era stata realmente totale; nell'ottavo gatto, nel quale l'esportazione non era stata completa forse perchè non mi riuscì di esportare la ghiandola senza ridurla in frammenti, rimaneva parte del lobo nervoso e parte della porzione posteriore del lobo ghiandolare; la porzione anteriore del lobo ghiandolare era stata esportata pressochè completamente. Ciò che vi ha di notevole si è che in questo caso a ridosso del lobo nervoso e in continuità con una piccola parte della porzione ghiandolare posteriore si aveva la formazione di numerose vescichette di grandezza varia, costituite da una parete lo spessore della quale variava da 6 a 8 μ; la quale era composta da fibre callagene e di un epitelio cubico ricco di granulazioni basofile. La cavità della vescicola era ripiena di sostanza colloide.

Casi consimili furono notati da VASSALE e SACCHI, e da FICHERA. Sono questi tessuti di carattere embrionale come mostrano di credere alcuni autori? Non lo ritengo, perchè quelle vescicole che si riscontrano talvolta nelle ipofisi di animali adulti, ma normali, e che si interpretano dagli autori come residui embrionari, che non hanno seguito l'evoluzione tipica, hanno struttura diversa, poichè in tali casi le vescicole sono diverse essendo rivestite da epitelio cilindrico e ciliato e poichè sono in intima connessione di continuità con la porzione del lobo ghiandolare. Preferisco quindi sospendere il giudizio sulla loro natura.

Procedetti poi all'esame istologico del contenuto della sella turcica degli altri sette gatti; all'uopo ho sezionato in serie tutto il basisfenoide opportunamente decalcificato e riscontrai che si era

formato un abbondante connettivo giovane, ma che non vi era per nulla impigliato alcun elemento dell'ipofisi.

FIG. 1.
Base cranica di gatto giovane operato.
In A si vede la breccia.

FIG. 2.
Il medesimo cranio visto dall'interno.
In B la breccia.

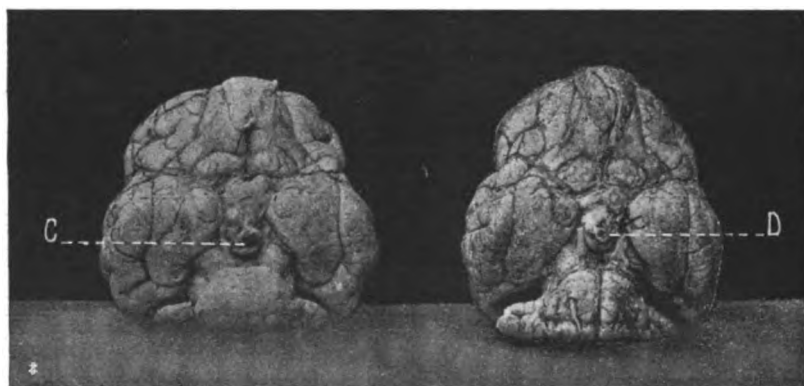



FIG. 3. 4.
Due cervelli di gatti. Quello di sinistra è di un gatto che fu operato ma nel quale l'ipofisi presenta solo (C) una lieve lesione; in quello di destra l'ablazione è completa. In D si vede l'infundibolo al quale era attaccata l'ipofisi.

Procedetti anche all'esame istologico dei principali organi di questi gatti senza riscontrarvi nulla di anormale.

Questo comportamento di animali ipofisiectomizzati, che subirono la detta ablazione senza presentare alcun fenomeno prossimo di-

mostrante l'insufficienza della funzione ipofisaria, trova riscontro in alcuni fatti anatomo-patologici. Infatti furono descritti casi di tumori nei quali la ipofisi era completamente distrutta e non si ebbero, accanto ai fenomeni dinotanti la localizzazione del tumore (compressione del terzo ventricolo del chiasma ottico, dell'oculo motor comune, ecc.), alcun fenomeno caratteristico dimostrante una ipofunzione ipofisaria. A questi casi si aggiungano i casi numerosi di distruzione dell'ipofisi per gomme sifilitiche, tubercolosi, echinococco, ascessi, degenerazione cistica, ecc.

Di più si ricordi un fatto interessante dovuto all'osservazione di Cyon, secondo il quale i cani di Berna hanno di sovente l'ipofisi atrofica (1).

Non meno interessanti sono gli effetti remoti della ipofisiectomia. Siccome però non ho ancora sacrificato altri quattro gatti nei quali, dall'esame istologico dell'ipofisi esportata, credo che l'ablazione fu completa, e che mantengo in vita per osservare meglio i fenomeni remoti conseguenti la ipofisiectomia, così mi limito qui ad un breve cenno.

Già il Caselli aveva notato che la ipofisi ha una non dubbia influenza sullo sviluppo. Questo autore, distruggendo la ipofisi in un cane in tenera età, potè conservarlo in vita per 56 giorni dopo i quali lo uccise e riscontrò che pesava 900 grammi di meno di un altro cane gemello tenuto per controllo. Da questo esperimento il Caselli concludeva che un arresto funzionale dell'ipofisi negli animali in via di sviluppo, determina un ritardo nell'accrescimento.

Il Fichera più tardi in quattro polli, nei quali egli era riuscito ad esportare completamente la ipofisi, notò che essi non raggiunsero le proporzioni di quelli con ipofisi illesa; specialmente due per i quali la differenza in meno era di grammi 650 e 720 rispettivamente.

(1) Quando queste mie ricerche erano già ultimate, Frankl-Hochwart ed Heiselberg comunicarono al 1° Congresso dei neurologi tedeschi tenuto a Dresda nel settembre u. s., un caso di tumore dell'ipofisi dell'uomo il quale fu arditamente asportato per la via nasale. L'ammalato viveva ancora dopo tre mesi; erano quasi del tutto scomparsi i fenomeni di localizzazione del tumore; era diminuito dl quasi due kgr. il peso del corpo. Non si notò alcun fenomeno caratteristico di cachessia ipofisifisica. È questo il primo caso di ablazione felice di un tumore dell'ipofisi. In un altro operato da Schloffer, per via nasale, il paziente morì dopo 75 giorni; la via nasale è stata indicata come una tra le migliori, nell'uomo, anche da Giordano e Caselli.

Mentre il Caselli riteneva che il ritardo nello sviluppo provocato dalla ablazione dell'ipofisi avrebbe portato luce al complesso problema dell'acromegalia, il Fichera giustamente ritiene che la questione non è sì semplice da pensarsi che, se si riuscisse a dimostrare che, come la ipofunzione determina l'atrofia di certi tessuti, così la iperfunzione ne provoca invece la ipertrofia, si sarebbe con ciò realmente risolta la questione della patogenesi della acromegalia. Se realmente la questione fosse così semplice, il Fichera avendo sperimentalmente dimostrato la ipertrofia e la iperplasia della ipofisi nei polli castrati, nei quali molti tessuti, specie quello osseo, si sviluppano oltre la norma, ed avendo parimenti data la prima prova sperimentale dell'arresto e del ritardo nello sviluppo nei casi di distruzione totale o parziale dell'ipofisi, avrebbe realmente avvicinato di molto la soluzione del problema. Ma il Fichera stesso crede di non poter uscire da un prudente riserbo a questo proposito, e per lo scarso numero di ricerche non crede di dovere senz'altro attribuire alla mancata funzione ipofisaria l'arresto e il ritardo nell'accrescimento organico.

In questi ultimi tempi il Cerletti [1] si propose di studiare l'importante problema e si mise per una via affatto diversa. Egli si è proposto di studiare gli effetti che il succo ipofisario, introdotto nell'organismo di animali in via di sviluppo, può avere sul loro accrescimento somatico.

Già il Masay aveva tentato questa via. Seguendo il metodo ideato da Bordet, questo autore si preparava un siero citotossico per la ipofisi. Egli ha potuto riscontrare che questo siero ipofisitossico iniettato nei cani determinava profondi disturbi nella nutrizione, e deformazioni notevoli nelle estremità. Vi sono, dice questo A. parlando dei suoi animali, delle particolarità che farebbero pensare ad una acromegalia sperimentale.

Il Cerletti riuscì a dimostrare un ritardo notevole nell'accrescimento in peso e nello sviluppo scheletrico degli animali sottoposti ad iniezioni sottocutanee di emulsioni gliceriche acquose di ipofisi di agnello, questi dati di fatto dimostrano a chiare note che la ipofisi esercita un'influenza sullo sviluppo organico. Essi si trovano in un certo accordo con fatti che la clinica e la anatomia patologica hanno

[1] Mentre correggo le bozze di stampa esce un nuovo lavoro del Cerletti del quale naturalmente non posso tener conto.

messo in luce. Basti ricordare a questo proposito il fatto che oggidì si tende a ravvicinare il gigantismo e la acromegalia. All'antica concezione dualista di queste due forme morbose, concezione dovuta a Marie, secondo la quale l'acromegalia è una affezione caratterizzata da un iperaccrescimento localizzato allo scheletro, mentre il gigantismo è una generalizzazione esagerata del processo osteogenetico normale, si va oggi sostituendo la concezione uneista difesa principalmente da Brissaud e Meige e da Woods Hutchinson, e da noi da Tamburini e da Massalongo, secondo la quale il gigantismo e la acromegalia sono una sola distrofia manifestantesi in due periodi diversi dell'accrescimento.

E ancora, poichè come hanno dimostrato Launois e Roy nel gigantismo si ha una ipertrofia ipofisaria, così si tende a pensare che ambedue queste forme siano manifestazioni del disturbo ipofisario. E così si tende ammettere che l'iperfunzione ipofisaria nel periodo dello sviluppo determina un maggior sviluppo delle ossa che vengono colpite quando ancora non furono ossificate le cartilagini epifisarie, e quindi si avrebbero le manifestazioni del gigantismo; invece, allorchè l'iperfunzione dell'ipofisi si ha quando tale ossificazione delle cartilagini epifisarie si è già avuta, allora si ha l'iperaccrescimento tumultuoso della acromegalia. Ma noi ci troviamo qui sul terreno sdrucciolevole delle ipotesi; conviene qui andare a rilento nell'accettare tali conclusioni tanto più che la ipotesi di Struempell, secondo il quale l'ipertrofia ipofisaria dell'acromegalia non sarebbe che un fatto secondario del disordine del ricambio, della intossicazione per veleni endogeni che sarebbe la causa patogenetica della acromegalia, ipotesi che ha in proprio favore tutti quei fatti sperimentali, che dimostrano che la ipofisi reagisce ad una esagerazione di lavoro con fenomeni iperplastici.

Comunque, anche gli animali da me ipofisiectomizzati presentarono dei segni caratteristici che verrebbero a deporre in favore di questi intimi rapporti tra accrescimento somatico e funzione ipofisaria in favore della quale depongono tutti questi fatti.

Gli animali da me operati erano giovani e perciò in via di accrescimento. Dopo due mesi dall'atto operativo la differenza di peso era assai sensibile ed andava sempre più aumentando sino a che, a otto mesi dall'atto operativo, raggiunse la cifra di circa un chilogramma. A questo periodo di tempo erano assai visibili le differenze di lunghezza.

Mi sono servito a questo scopo di un calibro al millimetro e ho seguita la tecnica indicata da CERLETTI, misuravo, cioè, la gamba posteriore mantenendola ad angolo retto con la coscia e mantenendo il piede ad angolo retto con la gamba; quindi prendendo come punti di repere il calcagno e la protuberanza patellare.

In questo modo, con misurazioni periodiche, ho potuto verificare che, confrontando gli animali operati con quelli di controllo, si aveva un arresto nello sviluppo scheletrico.

Tale ritardo si aveva quasi subito dopo la ipofisiectomia.

Salta subito agli occhi che questo mio reperto, come quelli di CASELLI e di FICHERA, è in contraddizione con quelli di CERLETTI. Quale ragione? Mi sembra prematuro l'indagarla, come mi sembra prematuro il trarre su questo punto conclusioni. Ciò che noi possiamo dire si è che la mancanza di funzione ipofisaria si manifesta remotamente con un ritardo nello sviluppo degli animali ancora in via di accrescimento, ritardo sia nell'accrescimento del peso, sia nello sviluppo scheletrico.

Debbo notare che tale ritardo nello sviluppo scheletrico era visibile su tutto l'arto, nè pareva fosse a carico di una parte del medesimo piuttosto che di un'altra. Ho praticato l'esame, con i raggi X, degli arti in preda a tale processo di arresto di sviluppo, ma non ho potuto notare alcun processo caratteristico. Tuttavia su questo punto ritornerò tra breve con altre ricerche dirette a illuminare meglio le cause di tale ritardo nello sviluppo.

Noi possiamo, sulla scorta dei fatti descritti, venire alle seguenti conclusioni:

1. L'ipofisiectomia non è mortale per gli animali, i quali la sopportano bene purchè la tecnica sia tale da mettere al coperto da ogni causa estranea.

2. Gli animali ipofisiectomizzati non presentano disturbi immediati caratteristici.

3. In conseguenza noi possiamo ritenere che la ipofisi non ha una funzione indispensabile per l'organismo. Forse qui intervengono altre funzioni compensatorie da parte di altri organi a struttura affine,

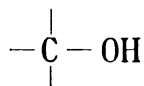
come lo lasciano credere numerosi fatti ricavati dallo esperimento, dalla clinica e dalla anatomia patologica.

4. Con ciò non intendo dire che la ipofisi è un organo inutile o rudimentale. Che anzi le mie ricerche, oggetto dei miei precedenti lavori, dimostrano che la ipofisi ha una caratteristica funzione e cioè il suo lobo nervoso è un organo ancillare del rene e il suo lobo ghiandolare appartiene al gruppo delle ghiandole a secrezione interna e a funzione prevalentemente antitossica.

5. La ipofisi ha una influenza sullo sviluppo organico, e cioè la mancanza della sua funzione determina un ritardo di sviluppo dell'organismo.

Dal Convento dell'Immacolata in Milano, dicembre 1907

OBSERVATIONS
DE CHIMIE CLASSIQUE

LES ALCOOLS TERTIAIRES

CONSIDÉRÉS COMME UN LIEN

ENTRE LA CHIMIE MINÉRALE ET LA CHIMIE ORGANIQUE

PAR

LOUIS HENRY

PROFESSEUR DE CHIMIE À L'UNIVERSITÉ CATHOLIQUE DE LOUVAIN

Quelles que soient la nature et l'origine des espèces chimiques, les mêmes lois en régissent la composition et l'activité. A ce titre, la Chimie, considérée dans son objet, est une.

Et cependant, comme au temps de Berzélius, de Dumas et de Liebig, on la divise, aujourd'hui encore, en Chimie « *minérale* » et en Chimie « *organique* ». Il n'y a de changé que le sens attribué à ces dénominations. Elles ont perdu leur signification naturelle, originelle; et seules des personnes, étrangères aux études chimiques, pourraient prendre encore la « *Chimie organique* » de notre temps pour la « *Chimie des êtres organisés* ». Elle n'est plus, de l'assentiment unanime des chimistes, qu'un chapitre détaché, au milieu de la Chimie générale, celui du carbone et de ses combinaisons.

Il est aussi vrai que de l'assentiment non moins unanime des chimistes modernes, la Chimie organique a conservé son droit à l'existence comme branche spéciale, sinon de savoir, du moins, de recherches et d'exposition. C'est que le carbone avec les combinaisons qui se rangent autour de lui, constitue, sous divers rapports, dans le domaine général de la Chimie, un domaine vraiment à part.

Le carbone lui-même possède, comme on sait, des propriétés qui le font remarquer parmi tous les autres corps simples. C'est d'abord

l'extension de sa capacité de combinaison atomique, c'est plus encore son indifférence chimique ou plutôt son aptitude à s'unir à des éléments de tout signe. Mais c'est surtout, chose singulière, son aptitude à s'unir à lui-même en des groupements polyatomiques, doués comme les atomes eux-mêmes, de stabilité. Le carbone tire de ce pouvoir d'auto-agglutination une fécondité extraordinaire, indéfinie puis-je dire; aussi son empire est-il immense. Ses composés, d'une individualité distincte, nettement établie, sont aujourd'hui au delà de cent mille ([1]) et, grâce à l'activité incessante des chimistes, le nombre s'en accroît encore tous les jours avec une rapidité qui a parfois provoqué des alarmes ([2]).

Non moins que leur nombre, leurs allures extérieures, leur « *manière d'être* » en général font remarquer entre toutes les combinaisons carbonées et pour s'en convaincre, il n'est pas nécessaire de se livrer à un examen comparatif approfondi, un coup d'œil jeté sur une collection de composés carbonés suffit pour démontrer à un observateur superficiel qu'il se trouve en présence d'un monde chimique d'un genre tout autre que celui constitué par les acides, les bases et les sels de la Chimie minérale.

Si, pénétrant plus avant dans l'observation de ces corps, on envisage leur « *manière d'agir* », on constate des différences plus marquées encore, et plus radicales. Les réactions rapides, instantanées et complètes, sont, par leur fréquence, presque la règle dans la Chimie générale, mais il en est tout autrement dans la Chimie des composés carbonés, car grand est le nombre de ceux dont les aptitudes réactionnelles ne s'éveillent ou ne s'exercent, et encore d'une manière imparfaite, ou plutôt *incomplète*, que dans des circonstances particulières, à la faveur du temps ou stimulées par la chaleur.

On s'aperçoit déjà parfaitement de cette différence dans les dispositions instrumentales qu'offre un laboratoire de Chimie organique.

De tous temps, cédant à la puissance de l'instinct de systématisation, et dans le but d'établir l'unité doctrinale dans leurs exposés théoriques, les chimistes ont fait choix de certains corps propres à

([1]) Un chimiste allemand, M. Richter, en a fait et continue à en faire le dénombrement. Voir son *Lexikon der Kohlenstoff Verleindungen.*

([2]) En 1827, Léopold Gmelin, écrivant son Traité de Chimie, invitait les pionniers de la Chimie organique à arrêter leurs conquêtes, de peur qu'il ne pût jamais terminer son ouvrage. Que dirait aujourd'hui Gmelin ?

rattacher, par des liens rationnels, les composés carbonés aux composés de la Chimie minérale, et à établir ainsi une transition naturelle entre ces deux parties si distinctes de la Chimie objective.

L'oxygène était autrefois l'élément prépondérant par excellence, il était donc naturel que l'on allât chercher parmi les composés oxygénés les corps chargés de remplir ce rôle important de rapprochement analogique et d'unification rationnelle. On l'attribua d'abord autrefois, et avec justice, aux alcools et notamment à leur principal représentant, celui qui a imposé son nom au groupe tout entier, l'*alcool éthylique* $H_5C_2 . OH$. Plus tard, quoiqu'à une époque déjà bien reculée puisqu'elle nous ramène à un demi siècle en arrière, on apprit à connaître des alcools d'un autre genre, la glycérine, le glycol, les alcools polyatomiques en général, qui vinrent compléter et développer d'une manière heureuse les analogies que l'on s'efforçait d'établir. Quoiqu'il n'entre pas dans mes intentions de faire ici l'histoire de cette question de Chimie classique, je ne puis me dispenser de signaler explicitement, à cette occasion, diverses publications de Wurtz, ce grand maître de la Chimie moderne, aussi excellent qu'éminent, à qui la science est redevable, parmi d'autres acquisitions, du glycol éthylénique. Elles sont, comme on va le voir, intimement liées à l'objet dont je m'occupe en ce moment. C'est d'abord une leçon « *Sur les glycols* », faite en 1860, à la Société chimique de Paris; c'est ensuite un des chapitres de sa « Philosophie chimique » intitulé: « *Alliance de la Chimie organique et de la Chimie minérale* » [1]; c'est enfin et surtout cette leçon magistrale « *Sur l'oxyde d'éthylène considéré comme un lien entre la Chimie organique et la Chimie minérale* », faite le 5 juin 1862 devant la Société chimique de Londres [2]. J'aime à en reproduire ici les dernières lignes qui en résument l'esprit et lui servent de conclusion :

« Je m'estimerais heureux si j'avais réussi à faire pénétrer plus « avant, dans l'esprit d'auditeurs si distingués et si bienveillants, cette « vérité que tout le monde a énoncée, que peu de personnes ont entre- « pris de démontrer d'une manière sérieuse, savoir: *qu'il n'y a qu'une* « *Chimie et que les lois qui président à la constitution des substances*

---

[1] Société chimique de Paris. Leçons professées en 1863, page 166.

[2] Annales de Chimie et de Physique. Tome LXIX (3e série), pages 355-383.

» *organiques s'appliquent avec une égale force aux composés de la Chimie*
» *minérale et de la minéralogie* ».

Ces paroles montrent à l'évidence que si l' « *unité de la Chimie* » est aujourd'hui une vérité de la science classique, il n'en était pas ainsi il y a un demi siècle. Pour n'avoir plus l'utilité d'une démonstration nécessaire, l'exposé du grand chimiste français, devenu un document historique, n'a rien perdu de son puissant intérêt. Je crois cependant que si Wurtz avait à refaire aujourd'hui une dissertation sur le même objet, ce n'est plus à l' « *oxyde d'éthylène* » $\underset{\diagdown\; O\; \diagup}{H_2C - CH_2}$ qu'il s'adresserait pour rapprocher les alcools et leurs éthers simples des oxydes métalliques et de leurs sels. Il existe à présent un composé du même genre, mais d'ordre plus simple, l' « *oxyde de méthylène* $H_2C = O$ », qui dans ses diverses variétés nous offre l'image parfaite d'un oxyde métallique.

Me proposant d'établir à mon tour, à la lumière de la science objective d'aujourd'hui, des rapprochements entre la Chimie du Carbone et celle des autres éléments, c'est encore aux combinaisons de l'oxygène que je demanderai des exemples et des preuves; pour n'avoir plus la prépondérance incontestée qu'il avait eu dans la Chimie de Lavoisier, l'oxygène n'en conserve pas moins dans la Chimie contemporaine une des premières places, sinon la première, dans la hiérarchie des éléments chimiques. Mais me souvenant que ces pages ne sont pas destinées à prendre place dans un recueil exclusivement consacré à la Chimie, ce n'est pas à l' « *oxyde de méthylène* $H_2C = O$ » le « *formol* » ou la « *formaline* » des hygiénistes et des praticiens de l'industrie, que je puis me permettre de recourir, pour servir de base objective à mon argumentation. S'il est possible d'établir un parallélisme parfait, tant au point de vue fonctionnel qu'au point de vue de la manière d'être extérieure, entre ce corps et les oxydes métalliques, ce parallélisme ne se constate parfois qu'à la suite de réactions moins aisées à réaliser que la précipitation d'un sel insoluble et de faits dont l'interprétation nécessite des explications que seuls les professionnels de la Chimie pourraient apprécier. Comme le faisait Liebig autrefois, je reviens, m'en croyant obligé, aux composés du groupe des alcools proprement dits: il en est aujourd'hui qui sont à mon sens de nature à rendre, avec un plein succès, le service d'assimilation rationelle que

les chimistes, soucieux des exigences d'un enseignement méthodique, ont a leur demander.

§ I.

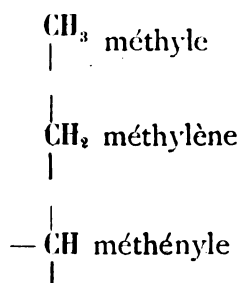
Alcools $Cn H_m - OH$ de divers genres.

Les « *alcools* » de divers genres sont analogues aux hydroxydes métalliques M (OH) mono et poly-acides. L'alcool typique, l'alcool éthylique $C_2 H_5 - OH$, qui a imposé son nom générique à la classe tout entière, est assimilable, au point de vue fonctionnel, à la potasse et à la soude caustiques, $K - OH$ et $Na - OH$. Mais cette équivalence, peu susceptible de constatation directe, apparaît moins dans les faits que dans les systèmes d'équations qui les représentent graphiquement. Aussi faut-il aux commençants un certain temps d'apprentissage pour se faire à cette adaptation intellectuelle. La situation, sous ce rapport, s'est améliorée, au cours du temps, à la lumière des faits qu'il revèle, et la Chimie organique possède de nouveaux types d'alcools qui reproduisent bien plus fidèlement que l'alcool éthylique et ses congénères, au point de vue fonctionnel, les caractères fondamentaux des hydroxydes métalliques de fonction basique.

Je veux me restreindre dans cet examen comparatif aux alcools les plus simples, les alcools mono-atomiques ou mono-hydroxylés, du groupe aliphatique, répondant à la formule générale $C_n H_{2n+1} - OH$. Ces alcools ne sont, comme on le voit, que les paraffines $C_n H_{m+2}$ mono-hydroxylées et celles-ci étant, à partir du méthane, constituées par l'association des divers fragments de cet hydrocarbure fondamental

CH_3 méthyle
|

|
CH_2 méthylène
|

|
— CH méthényle
|

et C, l'atome du carbone lui-même

on distingue à partir de l'étage C_2, et du méthane mono-hydroxylé, ou « *carbinol* », les alcools en divers groupes suivant la nature du

composant mono-carboné hydroxylé qu'ils renferment. Je n'en signalerai que les plus simples avec leurs représentants fondamentaux

$H_3C-(OH)$ carbinol ou alcool méthylique,

$H_2C-(OH)$ alcools *primaires*,

$H_3C-CH_2(OH)$ alcool éthylique ou méthyl-carbinol,

$HC(OH)$ alcools *secondaires*,

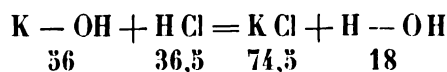
$(H_3C)_2>CH(OH)$ alcool isopropylique ou di-méthyl-carbinol,

$-C-(OH)$ alcools *tertiaires*,

$(H_3C)_3>C(OH)$ alcool pseudobutylique ou tri-méthyl-carbinol.

Le caractère fondamental d'une base hydroxylée comme la potasse caustique $K-OH$, réside dans son pouvoir salifiant, et pour le mettre en évidence, aucun acide n'est plus apte que le plus simple d'entr'eux, l'*acide chlorydrique* HCl, soit gazeux, soit à l'état de dissolution dans l'eau. Sa réaction sur une base *alcaline* de l'espèce de la potasse caustique, se caractérise par deux particularités du genre le plus aisé à constater expérimentalement: « *cette réaction est rapide*, même instantanée peut-on dire, et de plus, *elle est totale* ».

Présentés l'un à l'autre en des quantités correspondant à leurs poids moléculaires

$$\underset{56}{K-OH}+\underset{36,5}{HCl}=\underset{74,5}{KCl}+\underset{18}{H-OH}$$

ces deux corps déterminent, par l'échange des radicaux ou groupements équivalents, $-OH$ et Cl d'une part, K et H d'autre part, deux produits nouveaux, exclusivement, le sel KCl et l'eau $H-OH$.

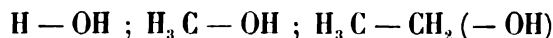
La réaction d'un autre acide, également caractéristique, l'*acide acétique* $(H_3C-CO)OH$, se passe dans les mêmes conditions, de temps et de masse, et comme celle de HCl, gazeux ou dissous, elle est rapide et complète.

Il en est tout autrement des alcools anciens, l'alcool éthylique et

l'alcool méthylique que l'on est habitué à regarder comme les « alcools par excellence », suivant la juste expression d'Hoffmann.

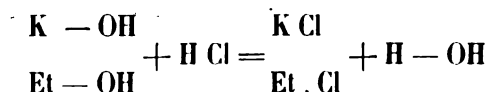
Notons bien leur composition $H_3C - OH$. et $H_3C - CH_2 - OH$.

L'accumulation de l'hydrogène sur le carbone combiné directement à l'hydroxyle, fait ressembler la molécule totale plus à celle de l'eau, hydroxyde d'*hydrogène*, $H - OH$.

$$H - OH \; ; \; H_3C - OH \; ; \; H_3C - CH_2(- OH)$$

qu'à celle de la potasse caustique, *hydroxyde* de métal, $K - OH$.

L'acide chlorydrique gazeux se dissout abondamment dans l'alcool éthylique, comme dans l'eau, en s'y combinant et en s'échauffant notablement.

Introduit dans l'acide chlorydrique fumant, l'alcool s'y dissout aussi, avec échauffement [1]; quant au phénomène d'éthérification, qui l'assimilerait fonctionnellement à la potasse caustique.

$$\begin{matrix} K - OH \\ Et - OH \end{matrix} + H\,Cl = \begin{matrix} K\,Cl \\ Et\,.\,Cl \end{matrix} + H - OH$$

il est nul à l'origine, et ne se produit, aux températures ordinaires, qu'avec une lenteur extrême; c'est la chaleur qui détermine les molécules de l'acide $H\,Cl$ et de l'alcool $H_5C_2 - OH$ à réagir en ce sens, et encore cette réaction n'est-elle qu'incomplète [2].

---

[1] Au point de vue thermique, la dissolution de l'acide chlorhydrique dans l'alcool est en tous points assimilable à celle de ce gaz dans l'eau elle-même

HCl dans 400 à 800 H_2O vers 18°, calories 17,43; $HCl + 300\ C_2H_6O$, calories 17,35.

[2] La dissertation doctorale de M. A. Villiers [1], aujourd'hui professeur à l'Ecole Supérieure de Pharmacie de Paris, renferme des indications précises sur l'éthérification de l'alcool absolu par l'acide chlorhydrique à la temperature ordinaire.

$^1/_2\ HCl + C_2H_6O$ à la température de 10° à 25°

	Durée			Coefficients d'éthérification
Après	1 jour		(janvier)	Traces
»	8 jours		»	1.3
»	118	»	(mai)	9,4
»	204	»	(août)	23,0
»	344	»	(décembre)	31,6
»	480	»	(mai)	34,9
»	600	»	(septembre)	40,9
»	852	»	(mai)	44,4

On voit avec quelle lenteur se produit l'éthérification de l'acide chlorhydrique à la température ordinaire. Elle est nulle en particulier pendant la dissolution du gaz chlorhydrique, comme M. Berthelot l'avait déjà reconnu par des mesures précises.

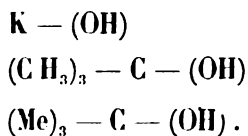
[1] Faculté des Sciences de Paris. 1880, page 24.

Plus riche en hydrogène que l'alcool éthylique, l'alcool méthylique $H_3C - OH$ présente encore à un degré plus marqué ces phénomènes de combinaison avec l'acide chlorhydrique sous ses diverses formes et d'éthérification difficile par cet agent.

Les alcools poly-carbonés de divers genres, à partir de l'étage C_3, *primaires* $C_n H_{2n+1} - C H_2 (OH)$ ou *secondaires* comme l'alcool isopropylique $H_3 C - CH (OH) - CH_3$ qui en est le type, se comportent en général de la même manière. L'acide chlorhydrique $H Cl$ aq. fumant les dissout tout d'abord et ne les éthérifie, sous l'action d'une caléfaction plus ou moins intense, que laborieusement.

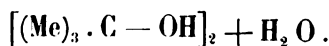
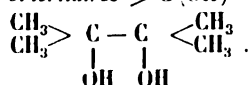
Avec les *alcools tertiaires*, nous entrons dans un groupe de corps d'une nature et de propriétés fort différentes. Je ne considérerai que le plus simple d'entr'eux, le *tri-méthyl-carbinol* $(H_3 C)_3 . C (OH)$ ou l'alcool *pseudo-butylique* qui les représente dans leur expression parfaite, du moins au point de vue chimique.

La disparition totale de l'hydrogène du carbone hydroxylé, soit de l'alcool *méthylique* $H_3 C - OH$, soit de l'alcool *éthylique* $H_3 C - C H_2 (OH)$ et son remplacement intégral par le radical méthyle $- C H_3$, a déterminé, tant dans la molécule totale que dans les aptitudes réactionnelles du radical hydroxyle $- OH$, des modifications qui rapprochent singulièrement ce corps des alcalis caustiques proprement dits, $R' - OH$, et notamment de la potasse et de la soude caustiques.

$$K - (OH)$$
$$(C H_3)_3 - C - (OH)$$
$$(Me)_3 - C - (OH).$$

Son aptitude à prendre l'état cristallin rappelle déjà la manière d'être d'un alcali proprement dit. Par un léger abaissement de température, le *tri-méthyl-carbinol* se congèle en effet en une masse cristalline, feuilletée, fusible à 28°.

Comme la potasse caustique, il forme un hydrate défini [1]

$$[(Me)_3 . C - OH]_2 + H_2 O.$$

---

[1] Cette hydratabilité se constate à un degré plus prononcé dans certains alcools *bi-tertiaires* $> C (OH) - C (OH) <$ continus, et notamment dans la *pinacone oxalique* $\frac{CH_3}{CH_3} > \underset{OH}{C} - \underset{OH}{C} < \frac{CH_3}{CH_3}$.

Mais c'est surtout par l'action des agents propres à manifester le caractère basique qu'il s'éloigne des alcools ordinaires, méthylique et éthylique, pour se ranger à la façon d'un véritable hydroxyde métallique, à côté de la potasse caustique.

L'acide chlorhydrique gazeux le transforme *instantanément* et *intégralement* en son chlorure $(H_3C)_3 - CCl$ et en eau, sans que l'on ait presque le temps de constater une véritable et réelle absorption gazeuse.

Introduit dans l'acide chlorhydrique fumant — d'une densité 1,19 — il s'y dissout momentanément, mais le liquide ne tarde pas à se troubler, et sous l'action d'un léger échauffement tout l'alcool s'en sépare à l'état d'éther chlorhydrique, constituant une couche liquide surnageante, limpide et d'une grande mobilité.

L'action des *chlorures acides* $R.COCl$ n'est pas moins caractéristique. Ces corps constituent comme l'on sait, des agents d'éthérification puissant des alcools *primaires* et *secondaires*, qui en sont transformés en éthers-sels, avec départ d'acide chlorhydrique. La réaction du *chlorure d'acétyle* $H_3C - COCl$, notamment est regardée comme une réaction typique. Sous ce rapport encore, les alcools se comportent à la manière de l'eau, qui dans ces conditions fournit de l'acide acétique. Mais la réaction du *chlorure d'acétyle* sur la potasse caustique est d'un genre tout autre, elle est transformée intégralement en son chlorure KCl avec formation d'acide acétique libre $H_3C - CO(OH)$. Aussi contrairement à ce qui arrive avec l'alcool éthylique, le *tri-méthyl-carbinol* $(H_3C)_3C.OH$, à l'instar de la potasse caustique, fournit son éther chlorhydrique $(H_3C)_3 - C - Cl$ et de l'acide acétique à l'état de liberté [1].

A l'action du chlorure d'acétyle sur les alcalis et les alcools, se rattache directement celle de l'acide chlorhydrique gazeux sur les dérivés acétiques de ces deux sortes de composés.

L'acide chlorhydrique gazeux et sec est puissamment absorbé par les acétates alcalins secs. C'est une méthode facile pour transformer l'acide acétique aqueux en acide acétique cristallisable. Le déga-

[1] Voir mon mémoire : *Du chlorure d'acétyle et de l'acide chlorhydrique, en tant que réactifs différentiels des alcools mono-atomiques aliphatiques de divers genres.* Bulletin de l'Académie royale de Belgique (Classe des Sciences), année 1906, pages 161-280.

gement de chaleur qui accompagne cette réaction est assez intense pour faire distiller une partie de l'acide mis en liberté [1].

La réaction du même agent est non moins vive et aussi énergique sur un acétate d'alcool tertiaire, tel que $(CH_3)_3 - C - (OH)$ ou $(CH_3)_2 - \underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{C}} - CH_2 - CH_3$. L'acide HCl gazeux en est complètement absorbé, avec formation intégrale de l'éther chlorhydrique correspondant.

Mais il en est tout autrement d'un éther acétique d'*alcool primaire*, tel que l'éther acétique ordinaire $CH_3 - CO - (O . CH_2 - CH_3)$. Celui-ci dissout l'acide HCl gazeux et se dissout lui-même dans l'acide chlorhydrique aqueux fumant. Sa décomposition, avec formation de chlorure d'éthyle $CH_3 - CH_2 Cl$ et d'acide acétique libre, ne se réalise que d'une manière difficile, par l'action de la chaleur et sous pression.

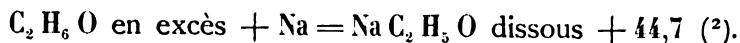
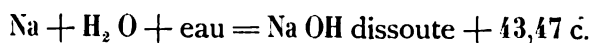
Un parfait parallélisme se poursuit d'une manière significative aussi entre les dérivés *chlorhydriques* $R . Cl$ de la *potasse caustique* $K - OH$ et ceux du *tri-méthyl-carbinol* $(Me)_3 . CCl$. Le chlorure de potassium KCl, comme d'ailleurs tous les chlorures métalliques solubles dans l'eau, précipite, *immédiatement* et *complètement*, la solution aqueuse de l'azotate d'argent $Ag . NO_3$. Or il en est de même, malgré son insolubilité dans l'eau, du chlorure de butyle tertiaire $(CH_3)_3 - C . Cl$. et pour donner à ce fait toute sa valeur démonstrative, je dois faire remarquer l'inertie des éthers chlorhydriques ordinaires, de méthyle d'ethyle etc., sur la même solution argentique.

L'action des métaux alcalins sur les alcools de divers genre établit aussi entr'eux une différence non moins significative.

Le sodium réagit vivement sur l'alcool éthylique $H_3C - CH_2(OH)$, comme sur l'eau, pour le transformer, à la suite d'un dégagement de chaleur intense et comparable à celui que l'on constate avec l'eau elle-même, en alcool sodé $C_2H_5 - ONa$

$$Na + H_2O + \text{eau} = NaOH \text{ dissoute} + 43,47 \text{ c.}$$

$$C_2H_6O \text{ en excès} + Na = NaC_2H_5O \text{ dissous} + 44,7 \text{ [2]}.$$

---

[1] Voir mon mémoire *Sur l'acétonitrile et l'acide acétique synthétique.* Bulletin de l'Académie royale de Belgique, t. XIII (3e série), page 112 (année 1887).

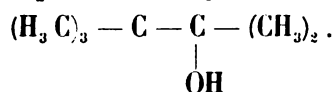
[2] De Forcrand, Annales (6), III, 129 (1884), et XI, 464 (1887).

Mais les alcools tertiaires se rattachent plus tôt sous ce rapport au type de la pot sse caustique; le sodium ne les attaque qu'avec une difficulté extrême qui rappelle l'inertie de ce métal sur la soude caustique, la substitution d'un atôme de métal à l'hydrogène de Na constituant une réaction endothermique.

En présence de cet ensemble de faits, qui constituent des réactions d'une grande rectitude, aussi remarquables par la promptitude facile avec laquelle elles se réalisent que par la netteté et la simplicité des produits qui en sont le résultat intégral, je suis autorisé à assimiler, aux alcalis caustiques non pas les alcools anciens tels que $H_3C — OH$, $CH_3 — CH_2(OH)$ comme on le fait habituellement, mais les alcools tertiaires qui renferment le système *carbo-hydroxylé* sans hydrogène $\overset{|}{\underset{|}{—C}}(OH)$; ce sont ceux-là qui sont les véritables *hydroxydes* ou *hydrates* du carbone analogues aux hydroxydes ou aux hydrates métalliques proprement dits. C'est par eux que la Chimie du carbone se rattache objectivement à celles des métaux.

§ II.

Le penta-méthyl-éthanol.

$$(H_3C)_3 — C — \underset{\substack{|\\OH}}{C} — (CH_3)_2 .$$

Si les réactions caractéristiques du tri-méthyl-carbinol $(H_3C)_3 — C — (OH)$, base hydro carbonée, se développent d'une manière parallèle à celle de la potasse caustique et de ses sels, elles sont loin toutefois de leur ressembler, par leur résultat, du moins considéré dans ses apparences extérieures. Je ne citerai qu'un exemple de cette différence. Sous l'action de l'acide chlorhydrique, l'alcool tertiaire en C_4, se transforme en son éther chlorhydrique $(H_3C)_3 — C\,Cl$ qui est un parfait liquide, bouillant à 52° sous la pression ordinaire. Avec le même agent, la potasse caustique $K — OH$ fournit son chlorure $K\,Cl$, un corps solide absolument analogue au sel marin $Na\,Cl$.

Mais il y a des alcools tertiaires plus intéressants encore à considérer au point de vue analogique que le tri-méthyl-carbinol. C'est de

l'un d'entr'eux, image parfaite à tous les points de vue d'un hydrate métallique que je vais m'occuper.

Il s'agit du « *penta-méthyl-éthanol* » $(H_3C)_3 - \underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{C}} - C - (CH_3)_2$. Sa formule indique suffisamment ses relations de composition avec l'alcool éthylique ($H_3C - CH_2(OH)$; elles sont les mêmes que celles du tri-méthyl-carbinol avec l'alcool méthylique. On devine que la « *méthylation* » totale de l'éthanol $H_3C - CH_2(OH)$ a déterminé dans ce corps des modifications profondes, tant au point de vue physique qu'au point de vue chimique; on verra bientôt en quoi elles consistent et quelle en est l'étendue.

Le penta-méthyl-éthanol $Me_3C - \underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{C}} - Me_2$ est relativement ancien; son existence remonte à 1875, il fut mis au jour par Butlerow qui l'obtint par la réaction du *zinc-méthyle* sur le chlorure d'acétyle-tri-mé thylé $(CH_3)_3C - COCl$. Sans doute cette réaction est du genre le plus simple, en apparence du moins, il suffit d'en mentionner les facteurs pour faire apprécier de quelles difficultés sa réalisation est entourée. Aussi ce beau corps, une des intéressantes créations synthétiques de l'éminent chimiste russe, qui a si puissamment développé la Chimie structurale, est-il resté jusque dans ces derniers temps une véritable rareté au milieu des alcools tertiaires. On possède aujourd'hui des méthodes faciles pour l'obtenir. Je n'en citerai qu'une seule, la plus aisée à mettre en œuvre. C'est la réaction du « *méthyl-bromure de magnésium* $CH_3 . Mg . Br$. » sur le chloro-isobutyrate d'éthyle $(H_3C)_2 - CCl . - CO(OC_2H_5)$, au sein de l'éther [1].

---

[1] Voir mes diverses notes dans le Bulletin de l'Académie royale de Belgique pour 1907. Classe des Sciences.

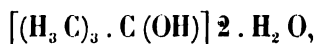
A ne considérer cette réaction que dans les composés qui en sont les facteurs, c'est comme si le composant $(CH_3)_2CCl$ y prenait part en même temps que le composant *éther-sel* $\underset{|}{OC} - OC_2H_5$. On arrive aisément à l'éther chloro-isobutyrique. La réaction directe du chlore, au soleil, sur le chlorure d'isobutyryle $(CH_3)_2CH - - COCl$, en fournit le dérivé chloré dans les meilleures conditions et celui-ci $(CH_3)_2CCl - - COCl$ avec l'alcool permet d'obtenir l'éther nécessaire à cette synthese intéressante, selon la méthode de Grignard.

J'ajouterai que mon but en instituant cette réaction était d'obtenir la *mono-chlorydine tétra-méthylénique* $(CH_3)_2\underset{\displaystyle Cl}{\underset{|}{C}} - \underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{C}} - (CH_3)_2$. Je n'ai pas à me plaindre de n'avoir pas réussi puisqu'elle m'a fournit mieux peut-être que ce que j'espérais.

L'opération est de celles qui s'accomplissent dans les meilleures conditions et sans être intégral, le rendement en est des plus avantageux. Je dois ajouter qu'elle fournit, non le penta-méthyl-éthanol lui-même, mais son hydrate $\left[(CH_3)_3 - C - \underset{\displaystyle OH}{\overset{|}{C}} - (CH_3)_2\right] 2 . H_2O$, ce dont il y a lieu d'être satisfait, comme on va le voir. C'est de cet hydrate que j'aurai particulièrement à m'occuper.

Le *penta-méthyl-éthanol* $(CH_3)_3 C - \underset{\displaystyle OH}{\overset{|}{C}} (CH_3)_2$ proprement dit constitue un liquide incolore, bouillant à 131° sous la pression ordinaire, aisement congelable en une masse cristalline, fusible à 17°.

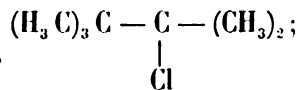
À la manière des alcalis anhydres, il manifeste une puissante affinité pour l'eau, il s'y combine vivement en se tranformant en un beau corps cristallin, fusible à 83°; cet hydrate $\left[(MC)_3 C - \underset{\displaystyle OH}{\overset{|}{C}} (CH_3)_2\right] 2 . H_2O$ correspond précisément à celui qui forme le *tri-méthyl-carbinol*

$$[(H_3C)_3 . C(OH)] 2 . H_2O,$$

mais il a l'avantage sur celui-ci d'étre solide et de rappeler par là les hydrates que forment les alcalis caustiques $KOH . 2H_2O$ et $(NaOH)_2 . 6H_2O$.

Le « *penta-méthyl-éthanol* » comme tel, et son hydrate, avec ses éthers haloïdes, rappellent parfaitement, tant au point de vue physique qu'au point de vue chimique, les combinaisons correspondantes des métaux alcalins, K et Na.

Il se prête à réaliser quelques expériences, de l'ordre le plus instructif, dont la valeur démonstrative est d'autant plus grande qu'elles sont plus faciles et plus rapides à exécuter. J'en rapporterai quelques unes du genre le plus classique:

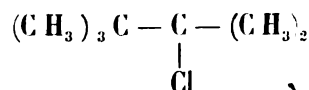
a) L'action de l'acide chlorydrique HCl.

Sous ses diverses formes, gazeux ou liquide, l'acide HCl réagit sur le penta-méthyl-éthanol, avec rapidité et d'une manière complète, en le transformant en son éther chlorhydrique, $(H_3C)_3 C - \underset{\displaystyle Cl}{\overset{|}{C}} - (CH_3)_2$; celui-ci est, comme les chlorures de potassium et de sodium, un corps solide, blanc, insoluble dans l'alcool et l'eau.

La solution alcoolique de cet alcool tertiaire précipite par l'introduction de l'acide HCl gazeux, liquide ou dissous dans l'alcool, absolument comme le ferait une solution de potasse ou de soude caustique.

L'effet est saisissant ([1]).

b) L'action du chlorure d'acétyle $H_3C-COCl$.

C'est contrairement à ce qui se produit avec l'alcool éthylique lui-même, la mise en liberté de l'acide acétique et la formation du derivé chlorhydrique tertiaire.

$$(CH_3)_3C-\underset{\displaystyle Cl}{\underset{|}{C}}-(CH_3)_2$$

Voici le détail d'une expérience concluante faite en présence de l'alcool ordinaire:

6 grammes d'hydrate de penta-méthyl-éthanol ont été mélangés à 3 gr. 5 d'alcool éthylique anhydre. On a fait tomber petit à petit dans ce mélange dûment refroidi, 12 grammes de chlorure d'acétyle; ces quantités sont moléculairement correspondantes.

A l'origine, la masse se liquéfie, et il se dégage faiblement de l'acide chlorydrique; l'acide HCl, produit de la réaction du chlorure acétique sur l'eau des cristaux constituant l'hydrate, transforme l'alcool présent en acétate d'éthyle, aisement réconnaissable à son odeur. Du

---

([1]) Les acides HBr et HI se comportent de la même manière.

J'ai insisté à diverses reprises sur l'intérêt qu'offre, au point de vue doctrinal, la réaction de HCl sur les alcools et notamment les alcools tertiaires.

Je rappellerai à cette occasion deux faits qui constatent que l'importance de ce réactif a eu quelque peine à se faire admettre.

a) Butlerow a encore employé en 1875, PCl_5 pour faire l'éther chlorhydrique du penta-méthyl-éthanol.

b) plus près de nous, en 1892, V. Meyer et Franz Müller font encore du chlorure de butyl tertiaire $(CH_3)_3CCl$. par la méthode qu'avait employée en 1877 Wischnegradsky pour faire le chlorure d'amyle tertiaire (Annalen. T. 190 p, 331), par l'action de PCl_5 sur l'alcool lui-même. N'est-ce pas prendre un canon pour tuer une mouche.

Et cependant, dès 1863, dans son grand mémoire « *sur l'isomérie dans les alcools et les glycols* » (Annales de Chimie et de Physique, T. 3, 4^e^ Série pag. 129). Wurtz avait déjà indiqué et même d'une manière, très-précise, l'action des hydracides halogénés, et notamment de l'acide HCl, sur l'hydrate d'amylène, le plus ancien des alcools tertiaires connus, mais défini plus tard comme tel.

Voici comment s'exprime Wurtz: « L'acide iodhydrique décompose l'hydrate d'amylène à une basse temperature....

« Le gaz chlorhydrique agit de même. De l'eau est séparée et il se forme du chlorhydrate d'amylène. La réaction s'accomplit à froid ».

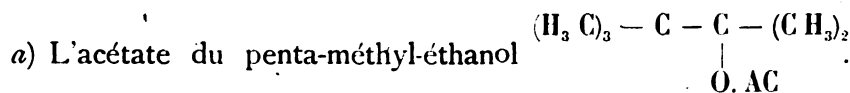
liquide odorant versé dans l'eau, on a recueilli 6 grammes du chlorure $(CH_3)_5 - C_2 Cl$. solide. Il en aurait fallu théoriquement 6 gr. 5.

c) Les réactions de l'éther chlorhydrique du penta-méthyl-éthanol.

Ce que l'on constate dans les derivé chlorhydrique, on le constate de la même manière dans les dérivés correspondants, bromhydrique et iodhydrique.

Physiquement analogue par son état solide aux chlorure de potassium et de sodium, l'éther chlorydrique du penta-méthyl-éthanol leur est *chimiquement* et *fonctionnellement* équivalent. Quoiqu'insoluble dans l'eau, il fait la double décomposition, avec la solution argentique, comme un véritable chlorure métallique, soluble. Il en résulte une précipitation de chlorure argentique. Par tout ce qui extérieurement est visible, la réaction de ce chlorure tertiaire est assimilable à celle d'un chlorure alcalin; il n'y a de différence que dans le sort du résidu halogénique, azotique — AO_3, qui dans le cas d'un vrai chlorure métallique devient un azotate, et dans le cas d'un chlorure d'alcool tertiaire, devient avec les éléments de l'eau, de l'acide azotique libre, l'alcool tertiaire étant régéneré.

Je dirai, en passant que cette réaction des éthers haloïdes tertiaires sur des solutions de métaux formant de sels haloïdes insolubles comme l'argent, le plomb etc., constitue une méthode avantageuse pour obtenir les alcools tertiaires, alors que leurs éthers haloïdes peuvent s'obtenir facilement par des voies indirectes, notamment par l'isomérisation d'éthers haloïdes d'autres alcools, produits naturels ou produits artificiels mais aisés à obtenir

a) L'acétate du penta-méthyl-éthanol $\underset{\text{O.AC}}{(H_3C)_3 - C - \overset{|}{C} - (CH_3)_2}$.

Aisé à obtenir par la réaction de l'anhydride acétique $(C_2H_3O)_2O$, sur le produit direct du méthyl-bromure de magnésium et du chloro-isobutyrate d'éthyle, il constitue un liquide incolore, bouillant in 96°-97° sous la pression de 80 millimètres. A part son état physique, ce corps se comporte absolument comme l'acétate potassique ou sodique avec l'acide chlorhydrique gazeux ou liquide, concentré. Au lieu que l'acétate d'éthyle se dissout dans ce dernier, ou dissout l'acide HCl gazeux, cet acétate tertiaire en est vivement attaqué, avec formation du chlorure solide et insoluble $\underset{\text{Cl}}{(CH_3)_3C - \overset{|}{C} - (CH_3)_2}$, et mise en liberté d'a-

cide acétique. C'est une éxperience de leçon du genre le plus instructif.

J'ai eu l'honneur de faire de 1863 à 1895 le cours de Chimie générale à l'Université Catholique de Louvain devant un très nombreux auditoire. Depuis cette époque, ma tâche, est restreinte aux leçons que j'ai à faire pour les élèves qui se destinent à subir les épreuves du doctorat en sciences chimiques. Quelque fut mon auditoire, j'ai toujours été préoccupé de l'idée de compléter les développements théoriques par des démonstrations expérimentales. Pour être utiles, alors qu'elles doivent être réalisées devant un grand nombre d'élèves et par conséquent vues de loin, ou au moins d'une certaine distance, les expériences doivent être faites sur de notables quantités de matière, ce qui nécessite qu'elles soient du genre le plus simple et se constituent de phénomène d'une réalisation facile et rapide. L'exposé que je viens de faire aura demontré, j'en ai la confiance, que les alcools tertiaires sont susceptibles de rendre de précieux services, non seulement dans l'ordre de la doctrine, mais aussi au point de vue de la pratique expérimentale.

§ III.

Appendice.

Ces pages commencent par cette déclaration:

« Quelles que soient la nature et l'origine des espèces chimiques, « les mêmes lois en régissent la composition et l'activité. A ce titre, « *la Chimie,* considérée dans son objet, *est* une ».

Il n'y a, sous ce rapport, ni imprécision ni incertitude dans ma pensée, et c'est pourquoi je tiens à écarter de son expression la possibilité de toute méprise sur la véritable portée de cette proposition.

Si j'admets que les combinaisons du carbone, élément fondamental dont sont pétris les êtres organisés, sont régies, tant à l'état statique qu'à l'état dynamique, par les mêmes lois qui régissent les combinaisons du silicium, de l'aluminium, du calcium, etc., éléments fondamentaux du règne minéral, je ne prétends nullement par là, vouloir assimiler un être organisé, quelque rudimentaire qu'il soit, à un minéral. Entre les deux règnes, inorganique et organique, il y a

un abîme infranchissable. La « *Science* » n'a pas franchi cet abîme en 1828, quand Wöhler réalisa pour la première fois, avec le cyanate ammonique, la synthèse d'un « principe organique immédiat »; elle ne l'a pas franchi non plus, quand, plus près de nous, on réussit à transformer l'acide tartrique artificiel, *inactif*, en ses variétés *optiquement* actives; l'on peut prédire, malgré de solennelles affirmations contraires, qu'elle ne le franchira pas davantage par les « albuminoïdes » dont on entrevoit la synthèse dans un prochain avenir, ni même par l' « *état colloïdal* » au milieu des étrangetés qu'il revèle. Mon bon sens se refuse à assimiler une molécule cristalline, douée cependant d'une organisation admirable, mais où tout est repos et identité permanente, avec la plus simple des cellules vivantes, où tout est mouvement, modification et variation successives. Les produits de l' « *affinité chimique* » naissent et se forment sous nos yeux de ce qu'ils ne sont pas, mais la « *vie* », dans ses formes représentatives, n'apparait pas là où elle n'est pas déjà: elle *se continue*. Les êtres organisés *naissent* et *meurent*, mais les produits de l' « *affinité* » sont permanents, dans les conditions de leur fondation primitive: le phénomène de la « *mort* » est inconnu dans le « règne inorganique ».

Sans doute nous ignorons, et nous ignorerons toujours ce qu'est la « vie » mais savons-nous davantage ce qu'est l' « affinité chimique » ? Nous ne connaissons ces deux modes d'activité matérielle que par leurs effets et leurs manifestations extérieures, et combien sont-ils essentiellement différents! A les *nier* ou à les *confondre* dans la diversité de leurs causes, on se trompe également.

En constatant l'identité des lois qui régissent l'activité spéciale des composés chimiques à quelqu'ordre qu'ils appartiennent, je n'ai évidemment en vue que leur activité telle qu'on la constate dans nos laboratoires. Si l'on devait voir dans ces mots une restriction, je n'y contredirais pas. C'est qu'il m'est impossible d'assimiler la chimie de « *nos laboratoires* » a celle des *êtres organisés vivants*, d'assimiler une cellule ou un organe en vie, à nos ballons, à nos cornues, aux récipients enfin de tout genre dans lesquels se réalisent communément les réactions chimiques. Lorsque je vois la différence des « *principes immédiats* », poisons, remèdes ou matières alimentaires, qui se forment spontanément dans des végétaux croissant dans un même sol, à côté les uns des autres, sous les mêmes influences climatologiques, quand

je constate aussi la différence d'action physiologique, exercée par un même principe, sur des organismes vivants, et divers, mais parfois peu éloignés les uns des autres, lorsqu'enfin je vois et je constate la différence des produits *d'assimilation* et de *désassimilation* des cellules vivantes, dans un même organisme et dans les divers organismes en général, il m'est impossible de ne pas admettre l'idée que cette grande inconnue qu'on nomme « la vie » détermine une orientation spéciale dans les puissances physico-chimiques, qu'elle constitue un « modificateur puissant » des affinités telles qu'elles nous apparaissent en soi, dans le pratique des opérations chimiques habituelles. Sans doute, il faut admirer les méthodes synthétiques de la chimie organique contemporaine, mais combien ses procédés demeurent encore loin, demeurent inférieurs aux procédés naturels! C'est avec peine que l'on parvient à édifier la molécule des grands acides que les végétaux fabriquent avec un succès inconscient qui reste en dehors de nos moyens, et tandis que la vigne déposera dans ses grappes de l'acide tartrique, le sorbier accumulera dans les siennes de l'acide malique qui s'en éloigne notablement. On est très fier et non sans raison, de pouvoir faire de *l'alcool éthylique* de toutes pièces, mais ce sont encore les granules infimes de la « *levûre de bière* » qui conservent le monopole de la fabrication de ce produit, si important à des titres divers, dans la vie des peuples.

Il y a selon moi, je le repète, un abîme infranchissable entre la matière inanimée et la matière douée de vie. Mais élevons-nous plus haut. Au sommet de l'échelle de l'organisation, il y a un abîme plus infranchissable encore... entre l'homme, être raisonnable, *homo sapiens* de Linné, créé à l'image de Dieu, doué d'une âme immortelle, et le plus élevé en rang des représentants du « *Règne animal* ». C'est le châtiment infligé à la déraison de l'orgueil que de méconnaître et de nier cette vérité qui est le grand honneur de l' « *Espèce humaine* ». Quant à moi, je me refuse, avec toute l'énergie de ma dignité d'homme, à confondre les lumières de mon intelligence, les puissances des ma libre volonté, les mouvements de mon cœur avec les impulsions et les créations routinières de l'*instinct*, quelqu'admirables qu'elles soient parfois dans la délicatesse de leurs manifestations.

Ces grandes questions de l'existence de la « *vie* » et de l' « *âme humaine* », comme entités spéciales et distinctes, se touchent de près et se relient dans nos croyances scientifiques par les liens naturels

d'une logique inflexible. Je me garde bien toutefois de les confondre et de les associer l'une à l'autre d'une manière nécessaire Dans une matière aussi grave, on ne peut user de trop de prudence et de réserve, car toute exagération compromet la vérité de la doctrine, inspire de la défiance et facilite l'acquiescement aux négations contradictoires.

C'est pourquoi je tiens à déclarer explicitement que je regarde les questions de la « vie » et de l'« âme » comme absolument distinctes, mais j'ajoute sans tarder et je repète qu'elles se touchent de près et sont même intimement unies. Dans les choses qui relèvent de l'intelligence, celles de la science, comme dans les choses qui relèvent de la volonté, celles de la morale, il y a des solidarités compromettantes; j'ai vu souvent que ceux-là qui nient l'existence de cette grande inconnue qui s'appelle la «*force vitale*» sont les mêmes qui, tombant dans les négations les plus abjectes, nient cette autre inconnue, à mon sens plus auguste, qui est l'« *âme humaine* ». C'est que la route qui mène aux aberrations intellectuelles du matérialisme, du monisme, du panthéisme, etc. est courte, et que l'on y descend par des pentes rapides et à surface glissante.

Opprimé par de douloureux souvenirs, je m'efforce, pour calmer de sombres pressentiments, de me convaincre de plus en plus qu'il est difficile à l'homme d'être logique jusqu'au bout de ses doctrines et que les contradictions les plus flagrantes s'établissent aisément entre ses pensées et ses actes. L'inconséquence est une faiblesse de l'intelligence humaine, mais au point de vue moral, il faut s'en féliciter car cette infirmité préserve certains esprits des chutes les plus lamentables.

PRODOTTO

DELLE CIFRE SIGNIFICATIVE DEI NUMERI

componenti alcune classi di numeri di *n* cifre

MEMORIA

del Prof. **PIETRO DE SANCTIS**

Prendiamo a considerare una classe di numeri di n cifre, scritti tutti in uno stesso sistema di numerazione arbitrario, di base $k+1$:

$$Cn \left\{ \begin{matrix} (\Lambda_1) \;, & (\Lambda_2) \;. & \cdots \;, & (\Lambda_n) \\ l_1 & l_2 & & l_n \end{matrix} \right\} ;$$

e proponiamoci di determinare il prodotto delle cifre significative di tutti i numeri che la compongono ([1]).

Facciamo le seguenti posizioni:

$$\begin{aligned} \Pi\lambda_1 &= \lambda_{1,1}\,\lambda_{1,2}\cdots\lambda_{1,h_1} \\ \Pi\lambda_2 &= \lambda_{1,2}\,\lambda_{2,2}\cdots\lambda_{2,h_2} \\ &\cdots\cdots\cdots\cdots \\ \Pi\lambda_r &= \lambda_{r,1}\,\lambda_{r,2}\cdots\lambda_{r,h_r} \; ; \end{aligned} \qquad [1]$$

([1]) Per tutte le notazioni e simboli adoperati nel presente lavoro veggasi la mia memoria: *Formule relative ad alcune classi e sistemi di numeri di* n *cifre:* Memorie della Pontificia Accademia Romana dei Nuovi Lincei, Vol. XIX, pag. 283.

Così, in virtù delle convenzioni stabilite nella detta memoria, la classe nominata nel testo comprende fra i numeri di n cifre del sistema di numerazione a base $k+1$, quelli nei quali le n cifre sono divise in r gruppi composti rispettivamente di $l_1, l_2, \cdots, l_r$ cifre occupanti pure rispettivamente gli stessi determinati posti, detti posti $(L_1), (L_2), \cdots, (L_r)$.

Le l_1 cifre che debbono occupare i posti (L_1), sono prese soltanto, ed in tutti i modi possibili, in un gruppo $\lambda_{1,1}, \lambda_{1,2}, \cdots, \lambda_{1,h_1}$, di h_1 cifre, dette cifre (Λ_1), tutte diverse fra loro ed arbitrarie, le l_2 cifre che debbono occupare i posti (L_2) sono prese in un gruppo $\lambda_{2,1}, \lambda_{2,2}, \cdots \lambda_{2,h_2}$, di h_2 cifre, dette cifre (Λ_2), tutte diverse fra loro; e così di seguito fino ai posti (L_r), nei quali le l_r cifre debbono essere prese in un gruppo $\lambda_{r,1}, \lambda_{r,2}, \cdots \lambda_{r,h_r}$, di h_r cifre, dette cifre (Λ_r), tutte diverse fra loro.

Inoltre tra i posti (L_1) è il primo posto dei numeri di n cifre della classe.

intendendo che se alcune delle cifre $\lambda_{1,1}\,\lambda_{1,2}\cdots\lambda_{2,1},\cdots$ sono uguali a zero, esse vengano soppresse, di modo che i prodotti $\Pi\lambda_1$, $\Pi\lambda_2$, $\cdots$ $\Pi\lambda_r$ non risultino mai nulli, essendosi da essi tolti tutti i fattori eventualmente nulli, e lasciati solo gli altri.

Distinguiamo poi il caso in cui tra le cifre (Λ_1), le quali debbono occupare i posti (L_1), tra cui è il primo posto dei numeri di n cifre, non è lo zero, da quello in cui tra le (Λ_1) è lo zero.

Supponiamo dapprima che tra le (Λ_1) non sia lo zero e consideriamo tutti i numeri componenti la classe scelta.

In un gruppo di posti qualunque (L_s) degli $(L_1), (L_2), \cdots (L_r)$, ciascuna disposizione delle cifre assegnate a quel gruppo, e cioè delle (Λ_s), comparirà un numero di volte uguale a $\frac{P}{h_s^{\,l_s}}$ [1], cioè tante volte quante sono le disposizioni con ripetizione diversa delle:

$$(\Lambda_1)\ ,\ (\Lambda_2)\ ,\ \cdots\ (\Lambda_{s-1})\ ,\ (\Lambda_{s+1})\ ,\ \cdots\ (\Lambda_r)\ ,$$

al loro variare rispettivamente nei posti:

$$(L_1)\ ,\ (L_2)\ ,\ \cdots\ (L_{s-1})\ ,\ (L_{s+1})\ ,\ \cdots\ (L_r)\ ;$$

indicandosi con la lettera P il prodotto:

$$h_1^{\,l_1} h_2^{\,l_2} \cdots h_r^{\,l_r}\,.$$

Considerando poi tutte le disposizioni con ripetizioni *diverse* della (Λ_s) nei posti (L_s), osserviamo che ciascuna cifra delle (Λ_s) comparirà in un qualunque posto *emmesimo* dei detti, tante volte quante sono le disposizioni con ripetizione delle stesse (Λ_s) negli $l_s - 1$ posti restanti, ossia $h_s^{\,l_s - 1}$ volte; perciò il prodotto di tutte le cifre significative che compariscono nel posto *emmesimo* degli (L_s) in tutte e sole le disposizioni diverse delle (Λ_s) in tali posti è:

$$\Pi\lambda_s^{\,h_s^{\,l_s - 1}}\,.$$

Siccome poi i posti (L_s) sono di numero l_s, così il prodotto di

---

[1]) Per la dimostrazione vedasi la Memoria citata alle pag. 290-91 e 294-96.

tutte le cifre significative che compariscono in detti posti, in tutte e sole le disposizioni diverse delle (Λ_s) è:

$$\Pi\lambda_s^{l_s h_s^{l_s - 1}} \;;$$

e poichè ciascuna disposizione delle (Λ_s) nei posti (L_s) comparisce nei numeri della classe considerata, come si è detto $\frac{P}{h_s^{l_s}}$ volte, così il prodotto di tutte le cifre significative contenute nei posti (L_s) è:

$$\Pi\lambda_s^{\frac{P l_s h_s^{l_s - 1}}{h_s^{l_s}}} = \Pi\lambda_s^{\frac{P l_s}{h_s}} \,.$$

Il divisore dell'esponente di $\Pi\lambda_s$ non è indizio di radice, perchè tenendo presente il significato del numero P, si rammenterà che esso contiene il fattore $h_s^{l_s}$, ed è quindi divisibile per h_s.

Per analogia si può stabilire che i prodotti di tutte le cifre significative che compariscono rispettivamente nei posti (L_1), (L_2), $\cdots (L_r)$ nei numeri considerati (¹) sono:

$$\Pi\lambda_1^{\frac{P l_1}{h_1}} \;\; \Pi\lambda_2^{\frac{P l_2}{h_2}} \,, \;\cdots\; \Pi\lambda_r^{\frac{P l_r}{h_r}} \;;$$

e perciò:

Il prodotto delle cifre significative di tutti i numeri di n *cifre di una classe:*

$$Cn \begin{Bmatrix} (\Lambda_1) \,, & (\Lambda_2) \,, & \cdots & (\Lambda_r) \\ l_1 & l_2 & & l_r \end{Bmatrix} ,$$

quando tra le (Λ_1) *non è lo zero, è espresso da:*

$$\Pi = \left\{ \Pi\lambda_1^{\frac{l_1}{h_1}} \; \Pi\lambda_2^{\frac{l_2}{h_2}} \cdots \Pi\lambda_r^{\frac{l_r}{h_r}} \right\}^{P} . \qquad [2]$$

I denominatori $h_1, h_2, \cdots h_r$, che si trovano negli esponenti non portano irrazionalità, perchè son tutti divisori dell'esponente P.

(¹) I posti (L_1) vanno considerati come gli altri, giacchè tra le (Λ_1) non è lo zero.

Se tutte le l mancano, meno l_1, si ha $l_1 = n$, $P = h_1^n$ e quindi la [2] diviene:

$$\Pi = \Pi\lambda_1^{nh_1^{n-1}} \quad . \tag{3}$$

Tra le (Λ_1) non deve esser lo zero per ipotesi, perciò $h_1 \leq k$: sia $h_1 = k$, allora le (Λ_1) sono le k cifre significative del sistema di numerazione e $\Pi\lambda_1 = k!$: si ha dunque in questo caso:

$$\Pi = (k!)^{nk^{n-1}} \quad ; \tag{4}$$

che dà il *prodotto di tutte le cifre significative di tutti i numeri di* n *cifre prive di zeri.*

Dalla [3] si possono dedurre anche i prodotti di tutte le cifre significative di tutti i numeri di n cifre privi, oltre che dello zero, anche di una o più cifre, così:

Il prodotto di tutte le cifre significative di tutti i numeri di n *cifre privi di zero, e delle* k_1 *cifre significative* $\mu_1, \mu_2 \cdots \mu_{k_1}$ *è dato da:*

$$\Pi = \left(\frac{k!}{\mu_1\mu_2\cdots\mu_{k_1}}\right)^{n(k-k_1)^{n-1}} \quad .$$

Ecco alcuni esempi.

Consideriamo la classe:

$$C4 \left\{ \begin{matrix} 587 \\ 2 \end{matrix} \;,\; \begin{matrix} 01 \\ 2 \end{matrix} \right\},$$

dei numeri di 4 cifre che al primo e terzo posto hanno cifre prese fra 5, 8, 7, ed al secondo e quarto prese fra 0 ed 1 ([1]).

Il prodotto di tutte le cifre significative dei numeri di questa classe in virtù della [2] è:

$$\Pi = \left\{ (5 \,.\, 8 \,.\, 7)^{\frac{2}{3}} \,.\, 1^{\frac{2}{2}} \right\}^{3.^2 2^2} = (5 \,.\, 8 \,.\, 7)^{24} \;:$$

come si confronta subito scrivendo i 36 numeri della classe.

([1]) V. Mem. cit. nel Vol. XIX delle Mem. Accademiche, p. 292, 299, 300.

Cerchiamo in secondo luogo il prodotto di tutte le cifre significative di tutti i numeri di 3 cifre privi di $0, 7, 8$.

Tale prodotto, che ci è dato dalla [3] è il seguente:

$$\Pi = \left(\frac{9!}{7 \cdot 8}\right)^{3(9-2)^{3-1}} = \left(\frac{9!}{7 \cdot 8}\right)^{147} .$$

Ed infatti, ciascuna cifra comparisce in ciascun posto tante volte quante sono le disposizioni con ripetizione cui danno luogo le 7 cifre che possono trovarsi nei numeri che consideriamo, negli altri due posti e cioè: $7^2 = 49$ volte; i posti essendo 3, ciascuna delle 7 cifre comparisce nei numeri della classe (i quali sono 7^3), 147 volte.

Passiamo a considerare il caso in cui tra le (Λ_1) è lo zero. Allora in un gruppo di posti (L_s), preso fra gli $(L_2), (L_3), \cdots (L_r)$, nei numeri della classe che si studia, ciascuna disposizione delle cifre (Λ_s) assegnate a tal gruppo comparirà:

$$\frac{h_1 - 1}{h_1\, h_s^{l_s}}\, P$$

volte (¹), cioè tante volte quante sono le disposizioni con ripetizione diversa delle

$$(\Lambda_1)\ ,\ (\Lambda_2)\ ,\ \cdots\ (\Lambda_{s-1})\ ,\ (\Lambda_{s+1})\ ,\ \cdots\ (\Lambda_r)\ ,$$

al loro variare rispettivamente nei posti:

$$(L_1)\ ,\ (L_2)\ ,\ \cdots\ (L_{s-1})\ ,\ (L_{s+1})\ ,\ \cdots\ (L_r)\ .$$

Il prodotto di tutte le cifre significative che compariscono nei posti (L_s) in tutte e sole le disposizioni con ripetizione diverse delle (Λ_s) prese l_s ad l_s, è, come si vide per la dimostrazione della [2]:

$$\Pi \lambda_s^{\,l_s h_s^{l_s - 1}} ;$$

questo numero moltiplicato per il numero delle volte sopra trovato, in cui ciascuna disposizione delle (Λ_s) comparisce nei posti (L_s), nei

(¹) V. Mem. cit. pag. 296.

numeri della classe, dà il prodotto di tutte le cifre significative contenute nei posti (L_s): questo prodotto è dunque:

$$\Pi\lambda_s^{\frac{\frac{P(h_1-1)\,l_s\,h_s^{l_s-1}}{h_1 h_s^{l_s}}}{}} = \Pi\lambda_s^{\frac{P l_s (h_1-1)}{h_1 h_s}} .$$

Risulta quindi che, potendo s variare da 2 ad r:

$$\Pi\lambda_2^{\frac{P l_2 (h_1-1)}{h_1 h_2}} \,,\quad \Pi\lambda_3^{\frac{P l_3 (h_1-1)}{h_1 h_3}} \,,\quad \ldots \quad \Pi\lambda_r^{\frac{P l_r (h_r-1)}{h_1 h_r}} \,,$$

sono i prodotti delle cifre significative che compariscono rispettivamente nei posti $(L_2), (L_3), \cdots (L_r)$, vigendo, bene inteso, per i denominatori degli esponenti l'osservazione più volte fatta.

Resta a determinare il prodotto delle cifre significative occupanti i posti (L_1) in tutti i numeri della classe.

Intanto ciascuna disposizione con ripetizione diversa delle (A_1) comparirà nei numeri della classe tante volte quante sono le disposizioni con ripetizione cui danno luogo le $(A_2), (A_3), \cdots (A_r)$, rispettivamente nei posti $(L_2), (L_3), \cdots (L_r)$, cioè:

$$h_2^{l_2}\, h_3^{l_3} \ldots h_r^{l_r} = \frac{P}{h_1^{l_1}}$$

volte.

Per determinare il prodotto delle cifre significative contenute in tutti e soli i gruppi diversi cui possono dar luogo le (A_1) nei posti (L_1) [1], consideriamo distratti dai numeri di n cifre i posti (L_1) ed occupati in tutti i modi diversi e possibili dalle cifre (A_1). Ciascuna di tali cifre comparirà in un posto *emmesimo*, diverso dal primo, tante volte quante sono le disposizioni con ripetizione delle altre $l_1 - 1$ cifre nei posti restanti, escluse quelle disposizioni che portano lo zero al primo posto, cioè:

$$h_1^{l_1-1} - h_1^{l_1-2} = (h_1 - 1)\, h_1^{l_1-2}$$

[1] Questa dimostrazione fu da me data in una nota intitolata: *Prodotto delle cifre significative di alcune classi di numeri*, per stabilire una formola che è caso particolare di quella che attualmente si ricerca. V. Atti della Pont. Accademia dei Nuovi Lincei, Anno LVIII, Sess. II del 15 gennaio 1905.

volte, quindi il prodotto di tutte le cifre significative che compariscono nel posto *emmesimo* degli (L_1), in tutte e sole le disposizioni con ripetizione diversa delle (Λ_1), è:

$$\lambda_{1,1}^{(h_1-1)h_1^{l_1-2}} \lambda_{1,2}^{(h_1-1)h_1^{l_1-2}} \cdots \lambda_{1,h_1}^{(h_1-1)h_1^{l_1-2}}$$

$$= (\lambda_{1,1}\lambda_{1,2}\cdots\lambda_{1,h_1})^{(h_1-1)h_1^{l_1-2}} = \Pi\lambda_1^{(h_1-1)h_1^{l_1-2}} \quad (^1).$$

Il numero m può andare da 2 ad l_1, essendo escluso il primo posto, perciò il prodotto delle cifre significative che compariscono in tutte e sole le disposizioni con ripetizione delle (Λ_1) si ottiene dal precedente prodotto elevandolo alla potenza $l_1 - 1$, esso è dunque:

$$\Pi\lambda_1^{(l_1-1)(h_1-1)h_1^{l_1-2}}.$$

Per le cifre che occupano il primo posto nelle disposizioni delle (Λ_1) giova osservare che ciascuna cifra comparisce $h_1^{l_1-1}$ volte, cioè tante volte quante sono le disposizioni con ripetizione di h_1 elementi $l_1 - 1$ ad $l_1 - 1$, nessuna esclusa, perchè lo zero può occupare tutti i posti meno il primo; segue da ciò che il prodotto di tutte le cifre significative che compariscono al primo posto in tutte e sole le disposizioni con ripetizione diverse delle (Λ_1) è

$$\Pi\lambda_1^{h_1^{l_1-1}}.$$

Ne consegue che il prodotto di tutte le cifre significative occupanti i posti (L_1), sempre per le sole disposizioni con ripetizione diverse delle (Λ_1), il quale si ottiene moltiplicando il prodotto delle cifre occupanti il primo posto, per il prodotto di quelle occupanti gli altri $l_1 - 1$ posti, è:

$$\Pi\lambda_1^{h_1^{l_1-1}} \Pi\lambda_1^{(l_1-1)(h_1-1)h_1^{l_1-2}} = \Pi\lambda_1^{h_1^{l_1-2}\{h_1+(l_1-1)(h_1-1)\}}$$

---

(1) È stabilito per ipotesi che una cifra tra le $\lambda_{1,1}, \lambda_{1,2}, \cdots \lambda_{1,h_1}$ è uguale a zero, dunque nella formazione del prodotto, essa per osservazioni fatte va tolta, dovendosi tener conto delle sole cifre significative.

o infine:

$$\Pi\lambda_1^{h_1^{l_1-2}\{l_1(h_1-1)+1\}}.$$

Elevando questo numero a $\frac{P}{h_1^{l_1}}$, cioè ad una potenza uguale al numero delle volte che ciascuna disposizione diversa permessa delle (Λ_1) comparisce nei posti (L_1), si ottiene il prodotto di tutte le cifre significative occupanti i posti (L_1) nei numeri della classe considerata, il quale è dunque:

$$\Pi\lambda_1^{Ph_1^{l_1-2}\{l_1(h_1-1)+1\}} = \Pi\lambda_1^{\frac{P}{h_1^2}\{l_1(h_1-1)+1\}}$$

Questo numero moltiplicato per il prodotto delle cifre occupanti gli altri posti ci dà:

$$\Pi\lambda_1^{\frac{P}{h_1^2}\{l_1(h_1-1)+1\}}\,\Pi\lambda_2^{\frac{Pl_2(h_1-1)}{h_1h_2}}\ldots\ldots,\ \Pi\lambda_r^{\frac{Pl_r(h_1-1)}{h_1h_r}}.$$

dunque:

Il prodotto delle cifre significative di tutti i numeri di n *cifre in una classe:*

$$Cn\begin{Bmatrix}(\Lambda_1), & (\Lambda_2), & \cdots & (\Lambda_r)\\ l_1 & l_2 & & l_r\end{Bmatrix},$$

quando tra le (Λ_1) *è lo zero, è espresso da:*

$$\Pi = \left\{\Pi\lambda_1^{\frac{l_1}{h_1}}\,\Pi\lambda_2^{\frac{l_2}{h_2}}\cdots\Pi\lambda_r^{\frac{l_r}{h_r}}\right\}^{\frac{P(h_1-1)}{h_1}}\Pi\lambda_1^{\frac{P}{h_1^2}}. \qquad [5]$$

È evidente che i divisori $h_2, h_3 \cdots h_r$ degli esponenti di $\Pi\lambda_2, \Pi\lambda_3, \cdots \Pi\lambda_r$ non adducono irrazionalità di sorta al prodotto Π nella [5].

Per provare che anche il prodotto $\Pi\lambda_1$ non trovasi sotto alcun vincolo radicale raccogliamo sotto un unico esponente i due fattori contenenti il prodotto $\Pi\lambda_1$: giungiamo così ad avere:

$$\Pi\lambda_1^{\frac{P\{l_1(h_1-1)+1\}}{h_1^2}}.$$

Il divisore h_1^2 non porta irrazionalità perchè, o è $l_1 \geq 2$, e allora P contenendo il fattore $h_1^{l_1}$, risulta divisibile per h_1^2, ovvero è $l_1 = 1$,

e allora l'esponente di $\Pi\lambda_1$ diviene $\frac{Ph_1}{h_1^2}$ ossia $\frac{P}{h_1}$, e P contiene ancora il fattore h_1.

D'altra parte il caso di $l_1 = 1$ può anche essere, ove si voglia, eliminato. Infatti in questa ipotesi si hanno numeri in cui al primo posto debbono essere assegnate cifre scelte in un gruppo tra cui è lo zero, il che equivale a toglier lo zero e diminuire di una unità il numero delle cifre da assegnarsi al primo posto; torna così dunque a doversi adoperare la formola [2].

Non sarà inutile vedere come in tal caso la [2] possa dedursi dalla [5].

Nella ipotesi di $l_1 = 1$, si ha dalla [5], tenendo presente che l'esponente di $\Pi\lambda_1$ si riduce in questo caso, come si è veduto, a $\frac{P}{h_1}$:

$$\Pi = \Pi\lambda_1^{\frac{P}{h_1}} \left\{ \Pi\lambda_2^{\frac{l_2}{h_2}} \Pi\lambda_3^{\frac{l_3}{h_3}} \dots \Pi\lambda_r^{\frac{l_r}{h_r}} \right\}^{\frac{P(h_1-1)}{h_1}} .$$

Chiamiamo P' il valore che assume P quando al posto di h_1 si pone $h_1 - 1$, avremo $\frac{P}{h_1} = \frac{P'}{h_1 - 1}$ e $\frac{P(h_1-1)}{h_1} = P'$; quindi:

$$\Pi = \Pi\lambda_1^{\frac{P'}{h_1-1}} \left\{ -\lambda_2^{\frac{l_2}{h_2}} \Pi\lambda_3^{\frac{l_3}{h_3}} \dots \Pi\lambda_r^{\frac{l_r}{h_r}} \right\}^{P'} ,$$

ovvero:

$$\Pi = \left\{ \Pi\lambda_1^{\frac{1}{h_1-1}} \Pi\lambda_2^{\frac{l_2}{h_2}} \Pi\lambda_3^{\frac{l_3}{h_3}} \dots \Pi\lambda_r^{\frac{l_r}{h_r}} \right\}^{P'} ;$$

che è ciò che diventa la [2] quando di posti (L_1) ve ne è uno solo, e le cifre (Λ_1) sono di numero $h_1 - 1$.

Se mancano $l_2, l_3, \cdots l_r$ e resta soltanto l_1, la quale perciò diviene uguale ad n, allora dalla formula [5], tenuto presente che nell'attuale ipotesi $P = h_1^n$, si ricava

$$\Pi = \Pi\lambda_1^{h_1^{n-2}(nh_1 - n + 1)} , \qquad [6]$$

che è: *il prodotto delle cifre significative di tutti i numeri di* n *cifre che contengono in tutti i modi possibili cifre prese in un gruppo di* h_1 *cifre del sistema di numerazione tra le quali è lo zero.*

Se poi oltre ad essere $l_2 = l_3 = \cdots = l_r = 0$, è anche $h_1 = k + 1$, cioè il numero delle (A_1) è uguale alla base del sistema di numerazione, allora le (A_1) sono tutte le cifre del sistema compreso lo zero, ed il prodotto Π dato dalla [5] o dalla [6] diviene il prodotto di tutte le cifre significative di tutti i numeri di n cifre; $\Pi\lambda_1$ diviene $k!$ e in fine:

$$\Pi = (k!)^{(k+1)^{n-2} \{ n(k+1) - n + 1 \}},$$

ossia;

$$\Pi = (k!)^{(k+1)^{n-2} (nk+1)},$$

formola già nota [1].

Dalla [6] si può anche dedurre il *prodotto delle cifre significative di tutti i numeri di* n *cifre privi delle* k_1 *cifre significative* $\mu_1 \mu_2 \cdots \mu_{k_1}$:

$$\Pi = \left(\frac{k!}{\mu_1 \mu_2 \cdots \mu_{k_1}} \right)^{(k - k_1 + 1)^{n-2} \{ n(k - k_1) + 1 \}} \qquad [7]$$

Ecco ora due esempi numerici [2].

Sia dapprima una classe:

$$C_5 \left\{ \begin{matrix} 05 \\ 4 \end{matrix} \quad , \quad \begin{matrix} 37 \\ 1 \end{matrix} \right\};$$

per esempio la classe dei numeri di 5 cifre che al 1°, 2°, 4° e 5° posto hanno cifre prese fra 0 e 5, e al 3° un 3, o un 7; la quale si compone di 16 numeri [3].

Applicando la [5] si ottiene per prodotto delle cifre significative di tutti i numeri che la compongono:

$$\Pi = \left\{ 5^{\frac{4}{2}} (3 \, . \, 7)^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{2^{4} \cdot 2 (2-1)}{2}} \; 5^{\frac{2^{4} \cdot 2^{1}}{2^{2}}},$$

---

[1] V. una mia nota: *Teoremi sui prodotti delle cifre significative di certi gruppi di numeri.* Atti dell'Accademia Pontificia dei Nuovi Lincei, Anno LII, Sess. II del 15 gennaio 1899.

[2] Dalla [2] e dalla [5] si possono dedurre alcune altre formule per casi speciali, dall'A. direttamente dimostrate nella nota prima citata la quale trovasi negli Atti Accademici, Anno LVIII, Sess. II del 15 gennaio 1905.

[3] Vol. XIX pag. 293, Mem. più volte citata.

ossia:

$$\Pi = 5^{40}\,(3\,.\,7)^{8}\ ;$$

come è facilmente verificabile con la osservazione dei sedici numeri della classe.

Si voglia ora trovare il prodotto di tutte le cifre significative di tutti i numeri di 3 cifre, sempre scritti nel sistema di numerazione decimale e privi di 7 e di 8. Tale prodotto sarà in virtù della [7]:

$$\Pi = \left(\frac{9!}{7\,.\,8}\right)^{(9-2+1)^{3-2}\,\{3\,(9-2)+1\}} = \left(\frac{9!}{7\,.\,8}\right)^{176}.$$

Ed infatti, ciascuna cifra potrà comparire al primo posto 8^2 volte, cioè tante volte, quante sono le disposizioni con ripetizione cui danno luogo tutte le otto cifre 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, negli altri due posti; e può comparire in ciascuno degli altri due posti un numero di volte uguale ad $8^2 - 8$, cioè tante volte quante sono le disposizioni con ripetizione cui danno luogo le dette otto cifre nel primo ed in uno degli altri posti, escluse quelle che portano lo zero al primo posto; in totale ciascuna cifra comparisce nei numeri in questione $8^2 + 2\,(8^2 - 8)$ volte, cioè 176 volte.

Le formole [2] e [5] che danno i prodotti delle cifre significative di tutti i numeri componenti una classe:

$$Cn\left\{\begin{matrix}(A_1)\ , & (A_2)\ , & \cdots & (A_r)\\ l_1 & l_2 & & l_r\end{matrix}\right\},$$

nei differenti casi possibili, paragonate a quelle che danno la somma delle cifre degli stessi numeri rispettivamente negli stessi casi (1), ci fanno vedere che dalle seconde si passa alle prime scambiando le somme $\Sigma\lambda_1$, $\Sigma\lambda_2$, $\cdots$ $\Sigma\lambda_r$. rispettivamente nei prodotti $\Pi\lambda_1$, $\Pi\lambda_2$, $\cdots$ $\Pi\lambda_r$, ed i loro coefficienti passandoli ad esponenti.

Olevano Romano, ottobre 1907.

---

(1) V. Mem. cit. del Vol. XIX delle Memorie Accademiche.

STRUCTURE ET FONCTIONS BIOLOGIQUES

DU

RÉSEAU ENDOPLASMIQUE

DU PARAMAECIUM AURELIA

PAR LE

P. JOSEPH KAAS Rédemptoriste

Il suffit d'avoir essayé d'observer au microscope des protozoaires, et, tout spécialement, des infusoires, pour se convaincre que l'étude de leur structure interne est une des tâches les plus délicates et les plus difficiles de la micrographie.

La difficulté de cette étude provient de plusieurs causes, dont les principales, à notre avis, sont le manque de transparence des infusoires, la différence presque insignifiante des indices de réfraction des diverses substances qui composent leur structure interne, différence tellement peu sensible, qu'elle ne permet pour ainsi dire pas de distinguer les unes des autres des structures pouvant cependant présenter entre elles les divergences les plus profondes.

Ce qui augmente encore cette difficulté, c'est l'épaisseur relativement très considérable de certains infusoires et précisément de ceux dont la structure apparait comme la plus intéressante et la plus parfaite. Pour ne parler que de l'infusoire dont nous allons nous occuper exclusivement dans ce mémoire, c'est à dire du *Paramaecium Aurelia,* voici comment Carl Vogt [1] s'exprime à son sujet: « L'épaisseur du Paramaecium est si « considérable, comme on peut le remar« quer lorsqu'il tourne autour de son grand axe [2] en nageant,

[1] CARL VOGT, *Traité d'Anatomie comparée pratique.* T. I, p. 82.

[2] Comme nous aurons l'occasion de l'expliquer dans la suite de ce mémoire, toutes nos observations nous ont fait constater que le *Paramaecium Aurelia* bien que pouvant se mouvoir en tournant autour de son grand axe se meut cependant d'habitude en faisant alternativement deux demis tours, l'un *dextrorsúm* et l'autre *sinistrorsúm* autour du dit grand axe.

« qu'une coupe transversale, pratiquée sur le milieu du corps, aurait « une forme à peu près circulaire ».

Tels sont les obstacles pour lesquels l'étude de la structure interne des infusoires a, jusqu'ici, fait si peu de progrès. Une méthode nouvelle, permettant de résoudre, ne fût-ce qu'en partie, les difficultés que nous venons d'énumérer serait, sans aucun doute, d'une véritable utilité pour la science. C'est pour essayer d'établir cette méthode que nous nous sommes livré aux recherches qui font l'objet de la présente communication.

Comme nous tenons à éviter toute confusion et toute équivoque, on nous permettra de déclarer, dès le principe, que notre intention, dans le présent mémoire, n'est nullement de décrire toute la structure interne de l'infusoire dont nous nous occupons, mais de nous limiter à l'étude d'un seul détail de cette structure interne, détail à la vérité de grande importance, c'est à dire à l'étude du réseau endoplasmique du *Paramaecium Aurelia.* Il nous semble indispensable de déclarer aussi que nous n'ignorons pas que, chez les infusoires, l'existence d'un réseau endoplasmique est admise depuis longtemps. Yves Delage, dans son remarquable traité des Protozoaires [1] nous dit que l'endoplasma des infusoires se compose de deux substances liquides: une, particulièrement visqueuse, dessinant un réseau continu et nommée *réseau endoplasmique* on *hyaloplasma,* l'autre beaucoup plus fluide, occupant les mailes de la première et nommée *paraplasma.*

Le même auteur [2] nous parle aussi du mouvement rotatoire que l'on observe perpétuellement dans l'endoplasma de l'infusoire, mouvement analogue à celui que montre le protoplasma des cellules végétales et qu'il est facile d'observer dans les poils staminaux de *Tradescantia Virginica*, dans le jeunes pousses de *Cucurbita*, dans les poils radicaux d'*Hydrocaris Morsus Ranae*, dans les feuilles de *Vallisnera Spiralis*, dans la tige du genre *Nitella* et du genre *Chara* [3], comme aussi dans les cellules de la feuille de la Jacynthe, dans les cellules de la racine de *Phaseolus* et dans celles des poils de *Chelidonium* [4] etc., etc.

---

(1) Yves Delage, *Traité de Zoologie concrète.* T. I, *La cellule et les Protozoaires.* Paris 1896, p. 406.

(2) Même ouvrage, p. 413.

(3) Strasburger, *Manuel technique d'Anatomie végétale*, p. 42.

(4) Van Tieghem, *Traité de Botanique*, mouvements internes du protoplasma,

Ce n'est donc pas de l'existence du réseau endoplasmique du *Paramaecium* qu'il s'agit dans le présent mémoire, mais bien de la structure exacte de ce réseau comme aussi de la signification précise qu'il convient de lui attribuer au point de vue des opérations vitales de l'infusoire. Pour plus de clarté nous diviserons notre travail en deux parties.

Dans une première partie, nous traiterons en autant de paragraphes distincts:

1°. De la méthode optique employée dans nos observations.

2°. Des moyens dont nous nous sommes servi pour contrôler l'exactitude de cette méthode optique.

3°. De la technique que nous avons suivie pour confectionner des préparations du *Paramaecium* se prêtant à une étude de la structure exacte du réseau endoplasmique.

4°. Des résultats que nous a fournis l'étude de ce réseau.

5°. Des conclusions pouvant être tirées, au point de vue de l'optique micrographique, de nos résultats et de nos méthodes.

La deuxième partie du présent mémoire sera consacrée à un essai d'interprétation de la structure du réseau endoplasmique du *Paramaecium* au point de vue de la biologie générale.

PREMIÈRE PARTIE

Méthodes d'observation et résultats.

§ I.

Méthode optique.

Le réseau endoplasmique étant réparti dans toute l'épaisseur du *Paramaecium* et cette épaisseur étant, comme on l'a vu, relativement considérable, il est nécessaire, vu l'impossibilité d'effectuer des coupes microtomiques de l'infusoire, d'employer une méthode optique donnant aux objectifs une exceptionnelle puissance de pénétration, et permettant à l'aide d'une sorte de sondage optique, d'étudier les différents plans de l'épaisseur du réseau.

Pour donner aux objectifs dont nous nous servions cette puissance de pénétration si nécessaire, nous avons employé, tout en nous servant du condensateur d'Abe, des ouvertures de diaphragme extrêmement étroites, c'est à dire de $\frac{8}{10}$ de millimètre environ.

Cette extraordinaire étroitesse d'ouverture est légitime en micrographie, parceque, comme l'établit le Dr Miethe [1] le diaphragme exalte la puissance optique de l'objectif tant que son ouverture n'est pas plus étroite que la centième partie de la distance focale de l'objectif avec lequel on l'emploie. Or, il est bien évident qu'avec des objectifs de $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{6}$, $\frac{1}{7}$, $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{12}$, et $\frac{1}{18}$ de pouce de distance focale, une ouverture de diaphragme de $\frac{8}{10}$ de millimètre est encore bien éloignée de la limite qui ne peut être dépassée sans amener l'astigmatisme et la mauvaise définition des images. Nous étions donc sûr, théoriquement parlant, que l'ouverture dont nous nous servions, précisément en vertu de son étroitesse exceptionnelle, augmentait exceptionnellement aussi les avantages provenant du diaphragme, ce qui revient à dire qu'elle accroissait d'une manière extraordinaire:

1°. l'uniformité d'éclairage de la préparation,

2°. la profondeur du champ optique,

3°. la correction de l'aberration chromatique,

4°. la correction de l'astigmatisme, du coma et de la courbure du champ focal [2].

Le seul inconvénient d'une telle méthode, c'est l'énorme diminution de la lumière transmise à l'objectif, mais comme nous l'avons déjà fait observer dans notre précédent mémoire [3], grâce à l'extraordinaire puissance des moyens d'éclairage que la science met actuellement à la disposition des micrographes, cette diminution de lumière peut être facilement compensée. Nous ne décrirons point ici l'appareil spécial que nous avons construit pour compenser cette diminution de lumière, car nous travaillons encore à son perfectionnement, et nous espérons avoir l'occasion d'en parler un jour avec quelque détail.

---

[1] MIETHE, *Optique photographique*, p. 85-90 passim.

[2] MIETHE, loc. cit., p. 85-90 passim.

[3] P. JOSEPH KAAS, *De l'emploi du Diaphragme en micrographie*, Memorie della Pontificia Accademia Romana dei Nuovi Lincei, vol. XXV, p. 76.

La méthode que nous venons d'indiquer n'est qu'une application particulière des principes exposés dans notre mémoire sur *l'emploi du diaphragme en micrographie*, mémoire où nous avons démontré que le pouvoir définissant d'un objectif n'est nullement proportionné, ainsi qu'on l'admet communément, à son ouverture numérique, mais bien à la perfection de son système optique, perfection qui ne dépend nullement de l'ouverture numérique, mais bien de la correction des aberrations si nombreuses auxquelles sont sujets les systèmes optiques. Hâtons-nous de dire, cependant, que bien loin de considérer l'emploi des objectifs de très grande ouverture numérique comme inutile, nous croyons au contraire, qu'on ne saurait trop en recommander l'usage, et qu'il serait souverainement avantageux de pouvoir employer, à partir de $^1/_4$ de pouce de distance focale des objectifs de 1,20 à 1,40 d'ouverture numérique. La raison de cette préférence est facile à saisir. Il est évident en effet que pour permettre à un objectif de fonctionner avec une ouverture numérique très grande, on est obligé de donner à un tel objectif une perfection pour ainsi dire idéale et qu'il conserve toujours, quand bien même, à l'aide d'ouvertures de diaphragme très étroites, on le ferait fonctionner à des ouvertures numériques extrèmement réduites. On ne s'étonnera donc pas de nous voir indiquer avec exactitude, dans le courant de ce mémoire, les ouvertures numériques des objectifs dont nous nous sommes servi dans nos expériences, bien que ces ouvertures numériques aient été réduites, en règle générale, à la vingtième partie du chiffre indiqué par le constructeur.

Rappelons aussi, comme nous le faisions observer dans notre précédent mémoire [1], que l'emploi des étroites ouvertures de diaphragme ne peut convenir à l'étude de toutes les préparations, ni même assez souvent, de tous les détails d'une seule et même préparation. Ainsi, par exemple, pour étudier les détails superficiels du *Paramaecium*, tels que cils vibratiles, granulations, structures nucléaires etc., etc., l'emploi d'ouvertures modérées de diaphragme est plus avantageux que l'emploi d'ouvertures exceptionnellement étroites. Mais nous n'hésitons pas à dire que, pour l'étude du réseau protoplasmique, l'emploi d'ouvertures aussi réduites que possible est indispensable,

[1] Memorie della nostra Accademia, vol. XXV, p. 75.

puisque c'est pour ne pas les avoir employées qu'il a été impossible de se former, jusqu'ici, une idée exacte de la structure de ce réseau.

§ II.

Procédés de contrôle de notre méthode optique.

Les nombreuses observations que nous eûmes l'occasion de faire en employant la méthode indiquée dans le paragraphe précédent nous avaient convaincu que, conformément à la théorie que nous venons d'exposer, dans les cas très mombreux où l'emploi de l'éclairage oblique n'est pas de rigueur, les ouvertures exceptionnellement étroites de diaphragme employées avec des objectifs bien corrigés, fournissent des images microscopiques d'une netteté, d'une précision et d'une minutie de détails ainsi que d'une profondeur de champ véritablement extraordinaires. Cependant, tout en constatant que nos images optiques étaient supèrieures à tout ce qu'il nous avait été donné d'observer en employant les méthodes ordinaires, nous demeurions perplexe au sujet de la valeur exacte de nos résultats, parce que nous ne connaissions aucun terme de comparaison nous permettant de contrôler ces résultats avec une entière précision. Une circonstance imprévue vint enfin nous fournir les termes exacts de comparaison qui, jusqu'alors, nous avaient manqué. Nous voulons parler de la construction, exécutée par la Maison Zeis d'Iéna, d'un instrument des plus remarquables, c'est à dire du microscope à lumière monochromatique ultraviolette du Dr Köhler.

Comme le fait observer le Dr Köhler lui même, c'est à l'un des membres de notre Académie, à l'illustre de Castracane que revient l'honneur de la première méthode d'observation microscopique par le moyen exclusif de photographies exécutées à l'aide de la lumière monochromatique ([1]).

Le microscope à lumière ultraviolette n'est, comme on le sait, qu'une application, plus perfectionnée encore, des procédés, déjà si

---

[1]) « So hat Graf Castracane auf Amicis Rat das Grün und Blau des Sonnenspektrums zur Beleuchung benutzt Wen es sich um die Auflösung fein gezeichneter Diatomeenstreifungen handelte (*Zeitschrift für Wisssenschaftliche Mikroscopie*, Band XXI, 1904, p. 133).

remarquables, de Castracane Comme notre célèbre collègue, le Dr Köhler substitue à l'observation microscopique directe la microphotographie exécutée à l'aide des radiations monochromatiques appartenant aux portions les plus réfrangibles du spectre, mais, avec cette différence, toutefois, que tandis que de Castracane utilisait les radiations des raies E, F, G, qui laissaient toujours aux images leur visibilité et permettaient une mise au point parfaite, le Dr Köhler utilise exclusivement les radiations ultraviolettes de l'étincelle électrique, du magnésium ou du cadmium dont la longueur d'onde $\lambda = 275$ millioniémes de millimètre, radiations perceptibles seulement à l'aide de l'écran fluorescent et de la photographie. L'avantage de longueurs d'onde aussi courtes, affirme le Dr Köhler, est de doubler pratiquement l'ouverture numérique de l'objectif En effet, si l'on prend comme exemple le plus puissant des objectifs du microscope de Köhler, on trouve que, pour cet objectif et pour la longueur d'onde $\lambda = 550$ millioniémes de millimètre le rapport

$$\frac{\lambda}{n \, . \, \sin u}$$

correspondant à la valeur de l'ouverture numérique est égal à 1,25. Or la longueur d'onde employée dans le microscope de Köhler étant à peu près la moitié de $\lambda = 550$, il en résulte d'après le Dr Köhler que le rapport

$$\frac{\lambda}{n \, . \, \sin u}$$

représente en lumière ultraviolette pour le même objectif une ouverture numérique égale à 2,50.

La description du microscope de Köhler publiée dans *Zeitschrift für Wissentschaftliche Mikroscopie* [1] contient diverses reproductions des très remarquables photographies exécutées par l'auteur lui même à l'aide de la lumière ultraviolette. Parmi ces reproductions nous nous fixâmes sur la photographie nº 1 représentant le *Pleurosigma Angulatum* et sur la photographie nº 4 représentant une écaille de *Pieris Brassica*, avec une finesse et une précision de détails véritablement extraordinaire. Ce furent ces deux photographies que

[1] Loc. cit., p. 129-165 et 273-304.

nous choisîmes comme terme de comparaison des images optiques obtenues à l'aide de notre méthode.

Après nous être procuré chez M[r] Thum de Leipzig des préparations de *Pleurosigma Angulatum* et de *Pieris Brassica* semblables à celles qu'il avait fournies à M[r] Köhler pour exécuter ses photographies, nous examinâmes ces préparations, en employant, avec une ouverture de diaphragme de $^8/_{10}$ de millimètre le procédé décrit par Beck sous le nom de *critical illumination* [1] et dont nous avons rappelé les principes dans notre communication précédente [2].

L'éclairage de notre appareil, rigoureusement centré avec l'axe optique de notre instrument, consistait en une lampe de Nernst, type intensif de 100 bougies, dont la lumière était monochromatisée à l'aide d'un écran qui ne laissait passer que les rayons compris entre les raies D et E du spectre. Nous employâmes la même amplification que M[r] Köhler, c'est à dire une amplification de 2.400 diamètres environ, obtenue à l'aide de l'Oculaire de Lendl et de l'objectif à immersion homogène de $^1/_{12}$ de pouce et de 1,40 d'ouverture numérique de Powel et Lealand.

Comme nous avions sous les yeux les photographies du D[r] Köhler il nous était facile de comparer les images réalisées à l'aide de notre méthode avec celles fournies par le microscope à lumière ultraviolette et nous constatâmes avec autant de satisfaction que de surprise, que pour le *Pleurosigma Angulatum* et *Pieris Brassica* les images obtenues à l'aide de notre méthode présentaient, aux points signalés par le D[r] Köhler comme étant tout particulièrement intéressants, la même netteté et la même finesse de détails que les images photographiques obtenues à l'aide du microscope à lumière ultraviolette.

Après avoir obtenu des résultats identiques à ceux de M[r] Köhler, nous pûmes constater, de plus, que sous les nervures centrales de *Pleurosigma Angulatum*, il existe des détails d'une très grande finesse, que les photographies de M[r] Köhler ne reproduisent pas et qu'il aurait été facile de photographier à l'aide du microscope à lumière ultraviolette en abaissant l'objectif d'environ un millième de millimètre au dessous du point où apparaissent les nervures centrales.

---

(1) Beck, *Microscope*, p. 13.
(2) Memorie, vol. XXV, p. 65.

Ces détails sont des entrecroisements de lignes semblables à ceux du reste de la superficie du *Pleurosigma Angulatum*, c'est à dire de figure hexagonale, mais avec cette particularité que les hexagones diminuent de plus en plus de dimension et finissent par devenir d'une finesse extrême sans rien perdre toutefois de leur forme caractéristique. Nous signalâmes cette particularité à M^r le D^r Köhler lui même en lui disant que, comme au point que nous lui indiquions, les deux moitiés de *Pleurosigma Angulatum*, au lieu d'être situées sur un seul et même plan, sont, au contraire, situées sur deux plans différents se coupant suivant un angle dièdre très obtus, il nous semblait qu'on pouvait soutenir que les nervures centrales si singulières du *Pleurosigma Angulatum* n'existent pas en réalité, et qu'elles ne sont pas autre chose que des raies de diffraction produites par des interférences d'ondes lumineuses causées par le passage de la lumière à travers les mailles hexagonales du double plan en forme d'angle dièdre du centre de la diatomée. Cette inclinaison en forme d'angle dièdre donne au centre du *Pleurosigma* une certaine analogie avec le double miroir dont Fresnel se servit pour réaliser ses franges d'interférence, analogie très incomplète à la vérité, mais qui suffit, en s'appuyant sur la théorie développée par Conrady (1) au sujet des figures d'interférence produites par les réseaux, pour autoriser à penser que les bandes alternativement claires et obscures de la nervure centrale du *Pleurosigma Angulatum* sont, elles aussi, des bandes d'interférence. Monsieur le Dr. Köhler nous répondit que notre observation méritait d'être examinée, mais que c'était une question de longue et délicate analyse mathématique.

Quoiqu'il en soit de la valeur de cette hypothèse au sujet de la nature des bandes centrales du *Pleurosigma Angulatum*, un point qui demeure acquis à la suite de nos expériences de contrôle, c'est que, pour les préparations microscopiques pouvant s'examiner à l'aide de la lumière droite ordinaire et sans l'emploi de réactifs colorés, l'emploi de très petites ouvertures de diaphragme est un procédé de puissance égale à celle du microscope à lumière ultraviolette actuellement considéré comme le plus puissant moyen d'étude des fines structures microscopiques. Convaincu, dès lors, de la valeur exception-

(1) Journal of the Royal microscopical Society, 1905, p. 542.

nelle de notre méthode, nous résolûmes de l'appliquer à l'étude du réseau endoplasmique du *Paramaecium Aurelia* regardé par tous les micrographes comme un des types les plus parfaits des infusoires ciliés.

§ III.

Technique suivie pour la confection de nos préparations microscopiques du Paramaecium.

L'eau de Rome dite *Acqua Vergine* contient une variété de *Paramaecium Aurelia* qui se prête spécialement au genre d'observations microscopiques que nous nous proposions de faire. Cette variété de taille moyenne (environ 5 centièmes de millimètre de longueur) est d'une transparence remarquable, dûe, sans doute, à la très faible proportion de sels calcaires qui caractérise l'*acqua vergine* et aussi aux substances azotées que contient cette eau, substances qui sont d'une efficacité spéciale pour dissoudre toutes les matières calcaires.

Le *Paramaecium Aurelia* de l'*acqua vergine* [1] est couvert de cils vibratiles remarquablement fins et transparents et ne gênant, par conséquent, en aucune manière les observations de la structure interne de l'infusoire. En été, c'est à dire lorsque le *Paramaecium* se trouve dans les circonstances les plus favorables au point de vue de la vitalité et de la bipartition, ses deux vésicules pulsatiles sont très peu apparentes [2]. Dans la variété dont nous parlons tous les individus

---

[1] L'analyse chimique des eaux de Rome, exécutée en 1884 et en 1885 sous le contrôle du célèbre professeur Cannizzaro par Mr. le Dr. Francesco Marino-Zuco, a donné pour *l'Acqua Vergine* la teneur suivante en substances minérales pour 100.000 gr. d'eau :

Carbonate de chaux	21	gr. 50
Chlore	1	» 30
Anhydride azotique	1	» 912
Substances organiques	0	» 0292
Anhydride phosphorique . . .	traces.	

Qu'il nous soit permis de témoigner ici toute notre reconnaissance à Mr. Barghiglioni, secrétaire de la section d'hygiène de la municipalité de Rome, pour l'exquise amabilité avec laquelle il a bien voulu se prêter à nous fournir les intéressants documents où se trouve relatée cette analyse.

[2] Dans nos très nombreuses observations effectuées sur le *Paramaecium* il nous a toujours semblé que ses vésicules pulsatiles sont d'autant plus apparentes que l'infusoire se trouve davantage dans un état pathologique et plus près de se dissoudre par suite de l'état d'hypertension, de gonflement et d'hydropisie de son endoplasma provenant des divers procédés employés pour l'immobiliser pendant qu'on l'examine au microscope.

qui ne sont pas sur le point d'entrer en bipartition sont d'une forme oblongue assez régulière excepté dans la région adorale, et l'on remarque dans leur endoplasma des granulations que toutes nos études précédentes exécutées en employant comme réactifs le chlorure de Palladium, le Kernschwartz et le chlorure d'or et de Cadmium nous avaient fait paraître distribuées de manière à former un réseau de configuration hélicoïdale. Ce fut cette configuration hélicoïdale du réseau endoplasmique que nous nous proposâmes d'étudier d'une façon détaillée.

Une première precaution à prendre pour examiner cette structure de l'infusoire consiste à n'étudier au microscope que des individus vivant dans une eau dépourvue de diatomées, car les diatomées, comme on le sait, sont facilement absorbées par l'infusoire et leur présence dans l'endoplasma rend impossible toute observation du réseau. Un moyen facile d'éviter cette présence des diatomées dans l'eau où vit le *Paramaecium* consiste à se servir d'une eau bien limpide, soigneusement privée d'algues par filtration et dans laquelle on place des fleurs fraichement cueillies. Au bout de 5 ou 6 jours, en été, le *Paramaecium Aurelia* y foisonne grâce à la nourriture abondante que lui offrent les myriades de bactéries qui n'ont pas tardé à se développer dans cette eau dont les diatomées sont complètement exclues.

Une seconde précaution non moins importante que la précédente consiste à choisir un réactif qui augmente encore la transparence de l'infusoire au lieu de l'affaiblir, et qui, sans le déformer en aucune manière, absorbe le paraplasma sans altérer en quoi que ce soit la structure interne du réseau que la disparition du liquide paraplasmique met bien en évidence. Il faut donc que le réactif soit tout d'abord transparent, car l'épaisseur de l'infusoire est relativement considérable, et si sa transparence n'est pas complètement conservée, il devient impossible d'examiner autre chose que sa structure superficielle. Il faut, de plus, que le réactif soit tout à la fois hypertonique et isotonique: *hypertonique* par rapport aux liquides de nature aqueuse que contient l'infusoire, afin de les faire disparaître, et *isotonique* par rapport aux substances qui composent le réseau endoplasmique, afin d'en respecter absolument les dispositions, les détails et les contours.

Cet ensemble de qualités ne suffit pas encore pour constituer un bon réactif. Pour éviter toute déformation causée par des manipulations trop nombreuses, il faut que le réactif soit assez puissant pour

tuer et fixer instantanément l'infusoire soumis à son action et lui servir en même temps de médium de conservation, de sorte que sans autres manipulations ultérieures qui seraient susceptibles d'altérer plus ou moins la structure que l'on veut étudier, il suffise de laisser tomber sur l'infusoire quelques gouttes de liquide fixateur, puis de le recouvrir d'une lamelle mince pour le conserver, sinon indéfiniment, du moins un temps très considérable sans aucune altération,

Après avoir employé, comme nous venons de le dire, les réactifs coûteux de chlorure de Palladium et de chlorure d'or et de Cadmium tant recommandés pour l'étude des infusoires, nous n'en étions pas demeuré satisfait, et, après divers essais, nous nous arrêtâmes en fin de compte, aux deux formules suivantes dont l'emploi nous paraît répondre aux diverses conditions que nous venons d'énumérer.

Première formule..

Glycérine	1 partie
Solution aqueuse gomme arabique 30 %	1 partie.

Laisser évaporer l'eau en excès puis border la préparation avec une solution de copal dur dans le nitrite d'amyle.

Deuxième formule.

Solution aqueuse gomme arabique 30 % . . .	15 cent. cubes
Solution d'iodohydrargriate de potassium à $^1/_{10000}$	5 cent. cubes
Glycérine	28 gouttes.

Agiter longuement le mélange, puis laisser reposer 24 heures.

La préparation de l'iodohydrargyrate de potassium est facile. Dans une solution aqueuse d'iodure de potassium à saturation, on fait dissoudre peu à peu de l'iodure rouge de mercure jusqu'à ce que le liquide soit saturé. On filtre, on fait évaporer, puis on fait dissoudre un décigramme du sel obtenu dans un litre d'eau en agitant vivement le liquide, puis on filtre de nouveau après avoir laissé le liquide reposer pendant 24 heures.

L'emploi de la formule n° 2 est des plus simples. On laisse d'abord tomber une goutte de liquide sur le porte-objet sur lequel on a préalablement placé une goutte d'eau contenant des infusoires, puis de quart d'heure en quart d'heure on ajoute une nouvelle goutte de liquide. Quand on juge l'évaporation assez avancée, et la quantité du

liquide conservateur suffisante, on fait tomber un couvre-objet sur la préparation qu'il n'est pas nécessaire de border, vu la fermeté du médium d'inclusion qui ne tarde pas à se dessécher et à se solidifier.

Comme l'a fait observer Monsieur Lo Bianco dans ses études sur les substances conservatrices employées à la station zoologique de Naples, c'est une grave erreur que de prétendre appliquer indistinctement la même formule de liquide à diverses espèces zoologiques très voisines les unes des autres, dans le but de les conserver, et il faut savoir la varier à peu près suivant la composition du protoplasma spéciale à chaque espèce, si l'on veut obtenir des résultats complètement satisfaisants. Nos études sur les infusoires nous ont fourni de nombreuses occasions de constater la justesse de l'observation de Mr. Lo Bianco. Notre formule n° 2, excellente pour le *Paramaecium Aurelia*, *Colpodium* et *Vorticella* avec le réseau endoplasmique desquels elle est isotonique, est, au contraire, hypertonique par rapport à *Lacrymaria*, *Loxophyllum*, *Amphileptus* sur le protoplasma desquels elle exerce une action violente et déformatrice. Nous croyons qu'il est facile d'éviter cet inconvénient en changeant la proportion des substances qui entrent dans ladite formule. Nous n'avons, toutefois, pas fait d'études spéciales au sujet de ces variations des substances composant notre formule, étant demeuré satisfait des résultats qu'elle nous fournissait pour l'étude du réseau de *Paramaecium Aurelia* que nous nous étions exclusivement proposé d'étudier.

Il est bien entendu que nos formules ne servent que pour étudier la structure dont il est ici question, et qu'elles ne se prêteraient pas, par exemple, à l'étude du noyau. L'examen du noyau, du moins en lumière ordinaire ([1]), exige un réactif coloré dont l'emploi rend, à la vérité, le noyau visible, mais en obscurcissant un grand nombre de détails de sa structure intime.

§ IV.

Résultat de nos recherches sur la structure du Paramaecium Aurelia.

Nous avons effectué nos recherches à l'aide de l'objectif sec achromatique n° 8ª de Reichert, de $^1/_{10}$ de pouce de distance focale, en

([1]) Il n'en est pas de même en lumière ultraviolette, du moins pour les noyaux d'un assez grand nombre de cellules.

employant, quant à tout le reste, la même méthode opératoire que pour l'examen du *Pleurosigma Angulatum* et de *Pieris Brassica.* Nous avions commencé nos observations avec l'excellent objectif de 1,40 d'ouverture numérique de Powell et Lealand qui nous avait fourni pour l'examen de ces deux mêmes objets les brillants résultats que nous avons décrits plus haut [1], mais nous ne tardâmes pas à nous convaincre que, pour l'examen de la structure endoplasmique du *Paramaecium*, cet objectif à immersion ne nous donnait pas d'avantages spéciaux, au point de vue de la pénétration et de la définition, sur l'objectif sec de Reichert de maniement beaucoup plus commode et surtout de champ plus vaste; car, en employant avec un objectif de $^1/_{12}$ de pouce de distance focale, l'oculaire de Lendl, dont l'emploi est des plus précieux pour fournir des plans optiques très rapprochés les uns des autres, et par conséquent pour multiplier les coupes optiques dans une préparation, en employant, disons-nous, l'oculaire de Lendl avec un objectif de $^1/_{12}$ de pouce, il était impossible d'embrasser tout l'ensemble de la préparation dans le champ fourni par cet objectif. D'un autre côté, comme l'objectif 8ª est de distance focale assez réduite et que l'emploi de l'oculaire de Lendl la raccourcit encore, il nous était facile, tout en ayant un champ plus vaste, de procéder dans notre examen par la méthode des coupes optiques. C'est donc de cet objectif que nous avons fait usage, et il nous a permis de dessiner à la chambre claire les 7 plans optiques différents de la structure interne du *Paramaecium Aurelia* représentés par les figures 1 à 7 de la planche qui accompagne le présent mémoire [2].

Nos figures 1 à 6 réduites par la photographie à la moitié de la dimension à laquelle nous les avons dessinées, c'est à dire à 1200 diamètres au lieu de 2400, ne représentent que des contours, mais ces contours répondent en réalité aux mailles d'un réseau de structure tubulaire très croisée et très enchevêtrée; il suffit, en effet, de superposer par la pensée, les uns au dessus des autres les 7 plans optiques représentés par nos figures pour comprendre que le réseau endoplasmique du *Paramaecium*, est en réalité, un appareil d'une extrême complication de structure. Nos figures, sauf la réduction de leurs dimensions, sont reproduites telles que nous les avons dessinées en

---

[1] Voir pages et du présent mémoire.

[2] Voir, à la fin du volume, la Planche III.

suivant, dans le prisme de la chambre claire la pointe de notre crayon traçant sur le papier les contours révélés par notre objectif. Les quelques retouches que nous nous sommes permises ont été celles exigées par l'une ou l'autre rectification de traits plus fins et plus rapprochés les uns des autres, que, par souci d'une fidélité complète nous avions dessinés en ayant l'œil dans l'oculaire de notre instrument, et qui, à cause de la difficulté inhérente aux dessins faits à la chambre claire et que connaissent bien ceux qui sont habitués à manier cet appareil, avaient légèrement empieté les uns sur les autres, mais sauf ces retouches que nous croyons devoir signaler, nos dessins ne représentent que les contours vus à travers le prisme de la chambre claire et reproduits sur le papier sans même examiner la figure que traçait notre crayon.

Comme il est facile de le voir, les figures 1, 2, 3, 4, 5 représentent les divers plans du réseau protoplasmique, réseau dont les mailles s'enchevêtrent, se resserrent, se compliquent et se rapprochent de plus en plus jusqu'à la disposition représentée par notre figure n° 5. La figure n° 6 représente dans une de ses parties une simplification notable de cet enchevêtrement du réseau.

La figure n° 7 dessinée à 1500 diamètres représente des particularités qui nous ont paru tellement extraordinaires que, pour plus de sûreté, nous avons voulu, après les avoir dessinées à la même échelle que nos figures précédentes, les dessiner à une échelle plus réduite encore en employant, cette fois, l'objectif de Powel, et Lealand de 1,40 d'ouverture numérique, mais nos deux dessins ont reproduit les mêmes détails. Ces détails, véritablement surprenants représentent, une cloison composée de fibres parallèles, sillonnées de traits et de pointillements éveillant l'idée de quelque chose de pareil à une striation musculaire. La portion des fibres de cette cloison qui se dirigent vers la zone adorale de l'infusoire offre une particularité des plus remarquables. La zone adorale du *Paramaecium Aurelia* est, comme on le sait, terminée par des cils très gros a, a', a'', a''', a'''' nommés *membranelles* et servant à orienter ses mouvements. Nous avons pu constater que chacune de ces membranelles forme la terminaison d'une des fibres de la cloison médiane, de sorte qu'on peut dire que chacune des fibres de la cloison médiane orientée vers la zone adorale se termine par une membranelle.

Un peu au dessous de ces membranelles de la zone adorale on

aperçoit une sorte de spirale protoplasmique D donnant l'idée d'une vésicule pulsatile. A l'extrémité opposée à la zone adorale, les fibres de la même cloison médiane viennent aboutir, en E, aux contours d'une sorte de spirale assez ressemblante à la spirale D, bien que de structure plus compliquée, et dont les détails ne sont pas sans analogie avec le dessin qu'Yves Delage donne de la vésicule pulsatile des infusoires ([1]). Les fibres dont nous parlons paraissent rattachées aux contours de cette spirale et donnent l'idée de fibres musculaires ayant pour fonction d'ouvrir ou de contracter une ouverture.

L'existence de ces fibres parallèles formant la cloison médiane de l'infusoire a été vérifiée par nous à bien des reprises et leur existence nous paraît indiscutable. Elles sont entièrement couvertes d'un pointillé ressemblant à une striation irrégulière et que nous avons figuré seulement dans les trois premières fibres de la région A, B pour représenter quelques uns des détails d'un second réseau endoplasmique qui s'entrevoit très nettement à travers les fibres de la cloison que nous venons de décrire. Cette cloison nous paraît diviser l'infusoire en deux moitiés symétriques, à peu près comme la cloison médiane du cœur de certains vertébrés divise celui-ci en parties symétriques

Une particularité digne de remarque, c'est que les régions où sont situées les spirales D, E ne sont pas situées sur le même plan.

En résumé, grâce à l'emploi d'un réactif de grande transparence et très hypertonique par rapport au liquide du paraplasma en même temps qu'il était à peu près isotonique avec la substance du réseau endoplasmique du *Paramaecium Aurelia* nous avons pu faire disparaître, pour ainsi dire, complètement le liquide paraplasmique sans altérer la structure du réseau endoplasmique, ce qui, grâce à notre méthode optique, nous a permis d'arriver à constater les points suivants:

1°. L'endoplasma du *Paramaecium Aurelia* est divisé en deux moitiés symétriques occupées, chacune, par un réseau endoplasmique de structure très compliquée.

2°. Les deux réseaux de chacune de ces moitiés paraissent communiquer entre eux par deux ouvertures situées sur deux plans de niveau différent. Ces ouvertures sont entourées d'une structure spiralée et sont situées dans la région où s'observent habituellement les vésicules pulsatiles de l'infusoire.

---

(1) Yves Delage, *La Cellule et les Protozoaires*, p. 409.

3°. Les deux moitiés symétriques du *Paramaecium* sont séparées par une cloison composée de fibres parallèles allant de la région de la vésicule pulsatile inférieure à la région de la vésicule pulsatile supérieure, en même temps que d'autres fibres partant également de la vésicule pulsatile inférieure se prolongent jusqu'à la zone adorale où elles se terminent par des membranelles.

4°. Les fibres en question dont la structure n'est pas sans analogie avec celle des fibres musculaires semblent jouer un rôle, tant dans la contraction des vésicules pulsatiles que dans le mouvement des membranelles.

5°. La région des vésicules pulsatiles, au lieu d'être, comme on l'admet communément, située dans la couche du protoplasma cortical [1] a, du moins pour le *Paramaecium Aurelia*, son origine dans la cloison fibrillaire qui partage l'infusoire en deux moitiés parallèles, ce qui n'empêche pas, cependant, les vésicules pulsatiles d'être alimentées par les canalicules du réseau qu'elles rencontrent sur leur passage depuis la cloison fibrillaire médiane jusqu'à la couche du protoplasma cortical.

Telles sont les données nouvelles qui nous semblent acquises par nos recherches sur le réseau endoplasmique du *Paramaecium Aurelia*. Nous avons obtenu nos résultats à l'aide de procédés qui nous ont permis de résoudre les détails du *Pleurosigma angulatum* et des écailles de *Pieris Brassica* avec la même perfection que le microscope à lumière ultraviolette. Ils nous paraissent donc dignes de confiance.

Comme nous nous attendons à voir contester plus d'un point de nos observations, on nous permettra d'essayer de répondre d'avance aux objections qui pourraient nous être faites.

Rappelons, d'abord, que ce n'est pas pour la première fois qu'il a eté observé que les membranelles de la zone adorale ont leur origine, non dans la couche corticale extérieure, mais bien dans l'endoplasma de l'infusoire. Il y a longtemps que Butschli a fait remarquer que les membranelles ne s'insèrent pas seulement sur la membrane extérieure, mais qu'elles la traversent et arrivent jusqu'à l'endoplasma par une lame continue. C'est cette lame que, nous aussi, nous avons découverte et nous avons pu, grâce à la technique nouvelle que nous avons employée déterminer que cette lame si ressemblante par sa

[1] Yves Delage, loc. cit., p. 409.

structure à la fibre musculaire au lieu d'arriver simplement jusqu'à l'endoplasma, se prolonge sur toute l'étendue de cet endoplasma jusqu'à la région de la vésicule pulsatile inférieure.

On sera peut-être aussi tenté de trouver étrange qu'en parlant d'un infusoire unicellulaire nous ayons parlé de fibres ressemblant à des fibres musculaires. Mais on nous permettra de faire observer que cette idée de faisceaux ou fibres musculaires existant chez les infusoires est loin d'être nouvelle. Comme le fait remarquer Claude Bernard dans ses *Leçons sur les milieux des êtres vivants* [1] Ehrenberg dont l'autorité est si grande en cette matière croyait qu'on peut attribuer, chez les infusoires, le mouvement ciliaire à l'action des muscles. En effet, on voit ordinairement à la base de chaque cil un petit renflement dans lequel Ehrenberg supposait l'existence d'un petit muscle. Il est donc évident que l'existence de fibres ou de faisceaux musculaires dans les infusoires est soutenue par un savant de compétence exceptionnelle. Du reste, Entz Geza, cité par Yves Delage dans son beau traité des protozoaires et dont les études sur les infusoires ont été si profondes, n'hésite pas, en parlant des éléments contractiles et élastiques du genre *Vorticellina*, d'employer lui aussi, le terme de *fibres musculaires* [2].

Il est possible, aussi, que l'on trouve inadmissible l'existence de la cloison médiane, jouant le rôle de cloison musculaire, que nous décrivons pour la première fois dans *Paramaecium Aurelia.* Mais si l'on songeait à contester l'existence de cette cloison, nous répondrions que, dans cet infusoire l'existence d'une cloison fibrillaire médiane, servant à dilater ou a rétrécir les deux ouvertures situées dans la région où s'observent habituellement les vésicules pulsatiles, est un fait qui nous parait s'imposer comme une conséquence nécessaire des expériences suivantes que nous allons rapporter après les avoir observées bien des fois.

Contrairement à se qui s'observe chez beaucoup d'autres espèces d'infusoires, le *Paramœcium* ne se meut pas d'habitude en tour-

---

[1] *Revue des cours scientifiques*, 1864-1865. *Mouvement ciliaire et mouvement sarcodique*, p. 492.

[2] Entz Geza, *Die elastischen und contractile elemente der Vorticellinen*, Mathem. naturwissenschaftliche Berichte aus Ungarn, Octobre 1891-1892, p. 1-48. Yves Delage en parlant des infusoires, et en citant Entz Geza emploie, lui aussi, le terme de *fibres musculaires*.

nant autour de son grand axe, mais il se meut presque toujours à la façon des poissons, c'est à dire en décrivant, dans la direction d'un plan passant par le dit grand axe, un arc de 180 degrés allant alternativement *dextrorsùm* et *sinistrorsùm* et il dirige ce mouvement à l'aide de ses cils vibratiles. On peut, cependant, changer complètement ce mouvement alternatif et le transformer en mouvement circulaire en exécutant une expérience aussi intéressante que facile à réaliser. Lorsque, dans une goutte d'eau renfermant des *Paramaecium Aurelia* on laisse tomber une goutte de solution d'Iodohydrargyrate de Potassium au millionième, les *Paramaecium* ne sont pas tués immédiatement, mais ils présentent les phénomènes que voici:

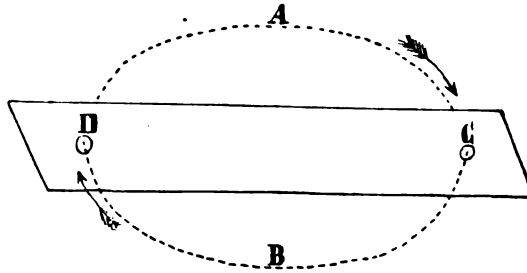
Après la chute de la goutte empoisonnée dans l'eau où ils vivent, les infusoires continuent, d'abord, à nager comme à l'ordinaire, en exécutant des ondulations alternatives. mais, bientôt, ce mouvement alternatif cesse et l'infusoire s'arrête, comme paralysé, puis il se met à tourner complètement et avec une grande rapidité autour de son axe comme le font la plupart des autres espèces d'infusoires. Cette première phase de l'action du poison sur l'infusoire est suivie d'autres phases que nous décrirons dans la deuxième partie de ce mémoire et qui nous seront fort utiles pour la démonstration d'une thèse très importante de cette deuxième partie.

Avant de connaître qu'il existe dans le *Paramaecium* une cloison médiane, il était impossible d'expliquer la cause de cette singulière transformation du mouvement alternatif en mouvement circulaire sous l'action du liquide empoisonné. Mais l'existence de cette cloison médiane et du réseau compliqué que nous avons décrit permet de donner une explication très simple et très naturelle de ce phénomène. Dans les infusoires qui ne se meuvent jamais d'autre manière qu'en décrivant, comme le ferait une toupie, un tour complet autour de leur axe, il ne doit pas exister de double réseau endoplasmique séparé par une cloison fibrillaire, mais il ne doit y avoir qu'un seul réseau exécutant un mouvement hélicoïdal dans l'intérieur de l'endoplasma. Un mouvement hélicoïdal de ce genre a été observé par Strasburger [1] dans les poils radicaux *d'Hydrocharis morsus Ranae*, mais comme il n'a lieu que dans une partie infinitésimale de la plante, il ne peut y occasionner de mouvement extérieur. Dans les infusoires,

[1] STRASBURGER, *Manuel d'Anatomie végétale*, p. 44.

au contraire, tout l'endoplasma est animé de ce mouvement, et ce mouvement, comme nous le démontrerons plus loin, est de très grande énergie. Dans de telles conditions, le centre de gravité de l'infusoire doit se déplacer continuellement, et de là, croyons-nous, proviennent les mouvements de translation de l'infusoire, mouvements modifiés, accélérés ou retardés par le mouvement des cils vibratiles.

Dans *Paramæcium Aurelia*, nous avons, au contraire, ainsi que nous l'avons démontré, deux réseaux endoplasmiques, séparés l'un de l'autre par une cloison, mais communiquant l'un avec l'autre par le moyen des ouvertures D, C situées dans la région des vésicules pulsatiles. Supposons, comme l'indique la figure schématique ci-contre, le courant endoplasmique allant de A en B à travers les ouvertu-

res D, C de la cloison, il suffit que chacune de ces ouvertures se contracte alternativement pour que le liquide du réseau dont le courant est dirigé vers celle des deux ouvertures qui est contractée éprouve un choc qui, en vertu des lois de l'hydrostatique, sera répercuté dans toutes les parties du courant orientées dans le même sens, et qui inclinera le corps de l'infusoire dans la direction du choc; et comme les ouvertures se contractent alternativement sur deux courants de direction contraire, nous aurons deux chocs de direction différente qui feront incliner le *Paramaecium* alternativement *dextrorsùm* et *sinistrorsùm* et produiront le balancement alternatif si caractéristique de son mode de progression.

Supposons, au contraire, que les fibres qui ouvrent et contractent alternativement chaque ouverture soient paralysées par l'action d'un poison, alors les deux réseaux endoplasmiques communiqueront librement l'un avec l'autre et passeront sans obstacle à travers la cloison médiane [1]. Dans cette nouvelle condition, l'infusoire ne sera plus

[1] Il en sera ainsi jusqu'à ce que ces deux réseaux ressentent à leur tour l'effet du

soumis au balancement dont nous venons de parler et il s'avancera en tournoyant sur son axe comme les infusoires d'autres espèces.

Tel est le fait, facilement observable, qui, selon notre opinion, devrait faire admettre même *à priori*, pour le *Paramaecium Aurelia* l'existence de la cloison médiane, de caractère fibrillaire et susceptible de mouvements de dilatation et de contraction alternatifs et dont la structure et les diverses particularités nous paraissent demontrées par nos observations ([1]).

§ V.

Conséquences de nos observations au point de vue de l'optique micrographique.

Une première conséquence à tirer des résultats et des méthodes exposés dans les paragraphes précédents, c'est qu'ils sont une preuve nouvelle de la thèse que nous avons eu l'honneur de développer devant l'académie ([2]), thèse où nous démontrions qu'il n'existe aucun rapport nécessaire entre le pouvoir résolvant et définissant des objectifs et leur ouverture numérique.

L'objectif de Powell et Lealand employé dans nos expériences avec une ouverture numérique de 0,20 au maximum, devait, selon les théories généralement admises, avoir un pouvoir résolvant et definissant proportionnel au carré de cette ouverture c'est à dire à 0,40, tandis que selon les mêmes théories l'objectif à lumière ultraviolette de 2,50 d'ouverture numérique devrait avoir un pouvoir résolvant égal à 6,25 c'est à dire 15 fois plus considérable que l'objectif dont nous faisions usage, et, cependant, malgré cette énorme différence, notre objectif, ainsi qu'on l'a vu, à produit pour la résolution des deux

---

poison. Une fois qu'ils auront été empoisonnés, ils seront soumis à des actions dont nous parlerons plus loin.

([1]) Il nous paraît nécessaire de rappeler, comme nous l'avons déjà fait observer dans une note précédente, que le mouvement habituellement alternatif du *Paramaecium Aurelia* peut cependant se transformer en mouvement circulaire dans certaines circonstances de la vie normale de l'infusoire, mais ces circonstances sont ecxeptionnelles, et elles démontrent, selon nous, que l'infusoire peut suspendre, même dans la vie normale, le mouvement de contraction alternatif des deux ouvertures D C de sa cloison médiane.

([2]) Vid. Memorie, vol. XXV, année 1907, p. 61.

préparations de *Pleurosigma Angulatum* et de *Pieris Brassica* une définition égale à celle d'un objectif qui, théoriquement parlant, devait fournir une définition 15 fois supérieure à la sienne.

Il est donc démontré une fois de plus que le prétendu principe de proportionalité de l'ouverture numérique de l'objectif à son pouvoir définissant est insoutenable.

C'est ce manque de proportionalité de l'ouverture numérique au pouvoir définissant de l'objectif qui peut, selon nous, être invoqué comme étant le véritable motif du peu de résultats nouveaux apportés aux observations microscopiques par l'emploi des objectifs à lumière ultraviolette. Comme le fait remarquer Monsieur Cotton dans son remarquable ouvrage sur les Ultramicroscopes [1], la théorie indique qu'en lumière ultraviolette, on peut voir des objets deux fois et demie plus petits à l'aide d'un objectif du Dr. Köhler, qu'à l'aide du même objectif fonctionnant en lumière monochromatique ordinaire. La supériorité des objectifs à immersion homogène employés en lumière ultraviolette par rapport aux objectifs à immersion homogène employés en lumière ordinaire devrait par conséquent être aussi appréciable que la supériorité de ceux ci par rapport aux objectifs secs non apochromatiques. Il y aurait donc lieu de s'étonner que le très remarquable instrument du Dr. Köhler [2] n'ait pas encore rendu pour les observations microscopiques les grands services que permettaient de prévoir les théories en vogue, si les observations que nous venons de formuler ne permettaient de donner à ce fait si étrange et si paradoxal en apparence une première explication qui nous paraît très simple.

A cette première explication qu'il nous soit permis d'en ajouter une autre que nous formulerons avec la réserve qu'il convient de garder en pareille matière. Les radiations qui ont impressioné les plaques photographiques de Mr. Köhler sont des radiations invisibles produites par l'étincelle d'une bobine d'induction éclatant entre deux électrodes de cadmium, mais ces radiations invisibles de quelle nature sont-elles? Ce ne sont pas des rayons X, puisqu'elles se ré-

---

[1] COTTON et MOUTON, *Les Ultramicroscopes*. Paris 1907. p. 30.

[2] Le microscope Köhler, selon nous, est un instrument de contrôle des plus précieux qui devrait se trouver dans tous les grands laboratoires de biologie; les définitions qu'il donne sont des plus remarquables, mais elles sont inférieures à celles que faisaient prévoir les théories en vogue.

fractent. Ce ne sont pas non plus des rayons cathodiques, puisqu'elles sont capables de se propager dans l'air à des distances relativement considérables. Mais ces radiations qui ne sont ni des rayons X ni des rayons cathodiques sont-elles véritablement des rayons lumineux, ou bien ne seraient-elles pas plutôt des radiations ayant pour origine un état spécial de radioactivité du cadmium, radiations de vitesse et de nature différente de celle de la lumière bien que capables de se réfracter? Là est la question, et nous avouons qu'en examinant les photographies qui accompagnent le mémoire de Mr. Köhler nous n'osons nous prononcer.

Si les rayons X étaient capables de se réfracter, on serait presque tenté d'attribuer à leur action l'impression des photographies de Mr. Köhler, tant les caractères de ces photographies se rapprochent de ceux des photographies obtenues à l'aide des rayons X. En effet, sauf pour le *Pleurosigma Angulatum* dont la frustule siliceuse, de même nature, à peu près que le quartz des objectifs et des oculaires de Mr. Köhler a laissé passer les radiations émises par l'étincelle du cadmium, les autres photographies imprimées dans le mémoire dont nous parlons, bien que représentant des objets de très grande transparence, ne reproduisent guère que les ombres de ces objets, ombres très nettes à la vérité, mais dont l'aspect, au lieu d'éveiller l'idée d'objets transparents éveille plutôt celle d'objets plus ou moins opaques qui ont intercepté les rayons invisibles du cadmium, à peu près comme un grand nombre de corps interceptent les rayons X. Une coupe microtomique du cristallin, par exemple, c'est à dire d'un objet si remarquablement transparent en lumière ordinaire, offre dans les photographies de Mr. Köhler, l'aspect d'un disque opaque comme un disque de charbon [1].

Nous ne prétendons pas nier que ces photographies proviennent de l'action de la lumière ultraviolette, mais nous prétendons que leur aspect donne plutôt l'idée de photographies produites par un état radiant de nature spéciale, causé par les actions de l'étincelle d'induction sur le cadmium. Pour résoudre la question, il faudrait pouvoir mesurer la vitesse des radiations qui ont impressionné les plaques de M[r] Köhler, afin de voir si ces radiations ont véritablement la vitesse de la lumière ou seulement une vitesse analogue à celle des

[1] Mémoire de Köhler, photographie XVI.

rayons γ, β ou α, observés dans les substances radioactives. A notre avis tant que la vitesse de ces radiations invisibles provenant du cadmium ne sera pas mesurée, la question demeure en suspens, et il est permis de dire aussi que la théorie du microscope de Köhler demeure douteuse.

Si les radiations qui pénètrent dans ce microscope, au lieu d'être des radiations lumineuses étaient purement causées par un état radioactif spécial du cadmium, ce serait le cas de se rappeler le passage suivant du rapport de Mr Picard [1], de l'Institut de France sur l'état actuel de la science: « Les physiciens allemands, à la suite « de Hertz, regardent les rayons cathodiques comme un mode d'on« dulations de l'éther, lumineux, mais, en face de cette théorie d'on« dulation s'est dressée la théorie d'émission de l'école anglaise qui « a définitivement prévalu. Ainsi la théorie d'émission triomphe pour « le moment, puisqu'elle se montre d'une grande fécondité. Quant à « la théorie ondulatoire, doit-elle être rejetée définitivement? Il serait « téméraire de l'affirmer. Pour qu'elle redevienne utile, il faudrait « imaginer quelque mode nouveau de perturbation de l'éther... mais « il me semble que ce serait aller au devant de bien grandes com« plications ». Nous avons donc le droit de conclure en nous appuyant sur l'opinion rapportée dans ce passage que si les radiations qui pénètrent dans le microscope de Köhler ne sont pas des radiations lumineuses, mais bien des radiations du même genre que les rayons cathodiques, bien que d'espèce différente, ce ne serait plus la théorie des ondulations mais bien la théorie d'émission qui, dans l'état actuel de la science, devrait être invoquée pour donner l'explication la plus probable de leur nature et de leur action, or comme la théorie présentée pour expliquer l'ouverture numérique véritablement extraordinaire des objectifs de Köhler est basée tout entière sur la théorie des ondulations de la lumière, ne peut-on pas dire que cette théorie est douteuse, puisqu'il n'est pas même démontré que les radiations dont il s'agit sont des radiations lumineuses, et qu'elles peuvent être des radiations du genre de celles auxquelles il convient d'appliquer, non plus la théorie des ondulations, mais bien la théorie de l'émission? Telle est l'explication que nous nous permettons d'émettre sous toute réserve, en pensant qu'elle pourrait, peut être, éclaircir quel-

---

[1] Picard, *La science moderne et son état actuel*, p. 158.

ques unes des difficultés soulevées par Mr Cotton à propos du microscope du D.r Köhler.

Une conséquence que nous déduirons encore des résultats que nous venons d'exposer, c'est que l'emploi des ouvertures très étroites de diaphragme est une méthode féconde et qu'il y aurait grand intérêt à en poursuivre l'étude. Comme le dit Mr Cotton [1], « de « très petites ouvertures de diaphragme peuvent produire des dif- « fractions dont l'effet utile peut produire des conditions d'éclairement « se rapprochant, dans une certaine mesure, de celles qui sont réali- « sées dans les ultramicroscopes ». En prenant pour les observations des objectifs de $^1/_{40}$ ou de $^1/_{50}$ de pouce de distance focale tels que les construit Powell et Lealand, on pourrait, en faisant intervenir les éclairages très puissants qu'il est si facile de réaliser aujourd'hui, se servir d'ouvertures de diaphragme incomparablement plus petites que celles que nous avons employées pour nos observations et arriver, du moins nous le croyons, à des définitions optiques extrêmement remarquables. Nous croyons, pour notre compte, que c'est en suivant cette voie qu'on trouvera la solution de bien des problèmes importants. Le chapitre traitant de l'emploi des petites ouvertures de diaphragme est un des plus intéressants de la technique micrographique, mais il est encore à faire, à peu près, tout entier. Pour le traiter à fond, il faudrait des moyens d'expérimentation qui, malheureusement nous font défaut, mais ce que nous ne pourrons, peut-être, jamais faire, d'autres pourront un jour le tenter, et nous serions heureux que ce mémoire leur en inspirât quelque idée.

---

[1] COTTON et MOUTON, *Les ultramicroscopes*, p. 19, note.

DEUXIÈME PARTIE.

Essai d'interprétation, au point de vue de la biologie générale, de la structura du réseau endoplasmique du Paramaecium.

§ I.

Principes sur lesquels s'appuie notre essai d'interprétation.

Le réseau endoplasmique du *Paramaecium Aurelia*, tel qu'il a été décrit dans la première partie de notre travail est un réseau tubulaire, liquide, de nature colloïde et de forme asymétrique flottant dans un autre liquide nommé paraplasma, de même densité que le réseau, mais de nature chimique différente.

Quand un liquide flotte dans un autre liquide, dit J. Plateau (¹), deux cas peuvent se présenter. Ou bien ce liquide est soumis à l'action de la pesanteur, ou bien il ne l'est pas.

S'il est soumis à l'action de la pesanteur, la surface libre de ce liquide, lorsqu'elle est en équilibre, est *plane* et *horizontale* excepté sur ses bords. D'après ce principe, ce que nous savons du réseau endoplasmique du *Paramaecium* nous permet d'affirmer immédiatement que le réseau en question n'est pas soumis à l'action de la pesanteur. En effet, il est composé d'une substance ne pouvant se mélanger avec le liquide qui l'entoure. Si cette substance était soumise à l'action de la pesanteur, elle devrait donc former une surface plane. Or elle ne la forme pas, donc, pour caractériser la forme d'équilibre du réseau, nous avons le droit de nous servir purement et simplement des règles que Plateau a formulées au sujet des figures des liquides soustraits à l'action de la pesanteur. Ce sont ces règles de l'immortel physicien belge qui nous serviront de principes dans l'essai que nous allons tenter de faire pour interpréter la signification du réseau endoplasmique au point de vue biologique. Qu'il nous soit donc permis d'en faire un exposé rapide avant de passer à leur application.

(¹) J. PLATEAU, *Statistique des liquides soumis aux seules forces moléculaires*, ch. I, § I.

Quand un liquide est soustrait, du moins en partie, à l'action de la pesanteur, il ne peut former de surface plane, et Laplace, dans ses études sur la capillarité, prouve par l'analyse mathématique que les forces moléculaires de ce liquide tendent à lui donner une forme *s'écartant de l'horizontale*. Les principales conclusions de l'analyse de Laplace sont les suivantes:

Les liquides soustraits, au moins partiellement, à l'action de la pesanteur exercent sur eux mêmes, en vertu de l'attraction moléculaire, une pression normale à la surface en chaque point de cette surface.

Comme les pressions de toutes les couches intérieures se neutralisent mutuellement, cette pression peut être regardée comme émanant d'une couche superficielle ayant une épaisseur égale au rayon de l'activité sensible de l'attraction moléculaire, et par conséquent, infiniment petite.

Cette pression est proportionnelle aux courbures que présente la superficie aux points considérés. Pour trouver cette courbure, dit Plateau, que nous continuons à citer [1], choisissons arbitrairement un point quelconque d'une surface liquide et imaginons une normale à ce point. Par cette normale faisons passer un plan. Il coupera la surface suivant une certaine ligne et le rayon de courbure de cette ligne au pied de la normale sera l'un de ceux de la surface en ce point. Faisons maintenant tourner le plan autour de la normale. Dans chacune de ses positions il déterminera une nouvelle ligne, et, par suite, un nouveau rayon de courbure. Or, parmi tous ces rayons il y en aura, en général, un, qui appartiendra à une courbure plus forte et un à une courbure plus faible que toutes les autres. Ce sont nos *deux rayons principaux* R et R' et les quotients

$$\frac{1}{R} \text{ et } \frac{1}{R'}$$

C'est à dire les mêmes longueurs de courbes divisées chacune par le rayon de courbure de chacune d'elles sont les *deux courbures principales* au point considéré. Plateau fait remarquer que, d'après un résultat curieux de l'analyse, les deux sections auxquelles appartiennent ces courbures sont toujours à angle droit l'une sur l'autre.

---

[1] J. PLATEAU, loc. cit., ch. I, § I.

Représentons, maintenant, par P la pression moléculaire exercée sur l'unité de surface et désignons par A une certaine quantité constante qui varie avec la nature du liquide, R et R′ étant les rayons de la plus faible et de la plus forte courbure en un même point. La pression correspondant à ce point a toujours pour valeur, rapportée à l'unité de surface :

$$P + \frac{A}{2}\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R'}\right) \quad (1)$$

Quand la courbure est convexe R et R′ sont positifs. Quand la courbure est concave, R et R′ sont négatifs. Quand elle est nulle, R et R′ sont infinis, A et P étant deux constantes invariables pour chaque liquide.

Cela étant, concevons une masse liquide sans pesanteur. Les pressions émanant des differénts points de la surface se transmettent des unes aux autres par le liquide intérieur qui ne sert qu'à transmettre intégralement les pressions des surfaces extérieures ; il faudra donc, qu'il y ait équilibre, que toutes les pressions soient égales entre elles, et, pour ce motif l'expression (1) devra avoir pour chacun des points de la surface une valeur constante, et comme P et A sont des constantes, la relation $\frac{1}{R} + \frac{1}{R'}$ doit l'être aussi, et par conséquent

$$\text{si } \frac{A}{2} + P = C \quad , \quad \frac{1}{R} + \frac{1}{R'} = C \quad (2)$$

Un autre résultat curieux de l'analyse, fait encore observer Plateau [1], c'est que dans deux sections quelconques à angle droit passant par une même normale, les rayons de courbure qui leur correspondent, rayons que nous nommons r et r′ seront tels que la quantité

$$\frac{1}{r} + \frac{1}{r'} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R'}$$

d'où

$$\frac{1}{r} + \frac{1}{r'} = C \quad (3)$$

Poisson, le seul qui ait traité avant Plateau la question de l'équilibre des masses liquides sans pesanteur, est arrivé à conclure, à

[1] Loc. cit., ch. I, § I.

l'aide de l'analyse mathématique que, parmi les sphéroïdes de révolution la sphère est la seule figure d'équilibre possible, car il est évident qu'une surface sphérique dont tous les rayons de courbure sont égaux satisfait à la relation

$$\frac{1}{R} + \frac{1}{R'} = C$$

Mais Plateau n'accepte pas cette conclusion du grand géomètre et il fait, à ce propos, une remarque d'une importance capitale pour le sujet que nous traitons. Outre la sphère dont tous les rayons de courbure sont égaux, dit ce célèbre expérimentateur, il y a d'autres surfaces qui satisfont à la relation

$$\frac{1}{R} + \frac{1}{R'} = C$$

et ces surfaces sont celles qui ont la même courbure moyenne en tous les points, puisque, comme nous venons de le voir, il n'y a qu'un instant, l'analyse mathématique démontre qu'il y a des surfaces qui satisfont à la formule

$$\frac{1}{R} + \frac{1}{R'} = \frac{1}{r} + \frac{1}{r'} = C$$

Ces surfaces à courbure moyenne constante sont, théoriquement parlant, en nombre illimité, et cela se comprend, puisque l'équilibre dépend de l'égalité de pression et l'égalité de pression de l'égalité de rapports entre les rayons de courbure se coupant à angle droit. Si donc on a, en tous les points

$$\frac{1}{r} + \frac{1}{r'} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R'} = C$$

il y aura partout égalité de pression et par conséquent équilibre. Or, dit Plateau, on peut imaginer une infinité de surfaces où cette égalité peut être réalisée.

Remarquons toutefois que bien que les figures d'équilibre soient, théoriquement parlant, en nombre infini, cependant les géomètres n'ont pu trouver, en coordonnées finies, que les équations d'une vingtaine de ces figures, dont Plateau, à l'aide de procédés devenus classiques, n'a pu réaliser que sept seulement qui sont : la sphère et ses deux dérivés, l'ellipsoïde et le tore, le cylindre et son dérivé l'onduloïde, et enfin, le nodoïde et le caténoïde.

Cependant, et c'est ici le point sur lequel nous voulons tout spécialement insister, cette innombrable variétés de figures de substances liquides que la théorie permet de prévoir, mais dont nos théories mathématiques ne permettent pas de calculer les coordonnées, et que nos procédés expérimentaux si défectueux permettent encore moins de réaliser, *cette innombrable diversité de figures des liquides*, disons nous, *existe réellement, et pour en observer la prodigieuse variété, il suffit d'observer les êtres vivants dont les organes, quand ils ne sont pas composés de substances liquides à coefficient plus ou moins grand de viscosité, ont, du moins pour la plupart d'entre eux, commencé, aux premiers stades de la vie embryonnaire par être des liquides flottant au sein d'autres liquides.*

Ce qu'il est vrai d'affirmer des formes embryonnaires des êtres vivants est tout particulièrement vrai pour les infusoires composés, pour ainsi dire, presque exclusivement, de substances liquides. Nous avons donc le droit de dire que le réseau endoplasmique du *Paramaecium* dont la forme tubulaire asymétrique est si étrange à première vue, est, en réalité, une figure d'équilibre à courbure moyenne constante, figure qui doit être, au point de vue biologique, douée de propriétés remarquables. Ce sont ces proprietés que nous allons essayer de rechercher dans les pages qui vont suivre en appuyant nos inductions sur les principes qui viennent d'être exposés.

Pour eviter toute difficulté au sujet du sens exact qu'il convient d'attribuer au terme de figure d'équilibre, il nous parait essentiel de faire remarquer que Plateau divise ces figures en deux classes bien distinctes, c'est à dire en figures d'équilibre stable et en figures d'équilibre instable. La seule figure d'équilibre stable d'un liquide flottant dans un autre liquide de même densité que lui est la sphère, qui, en vertu de sa seule tension superficielle, est capable de conserver indéfiniment sa forme caractéristique [1]. Quant aux figures autres que la sphère, puisqu'elles réalisent elles aussi les conditions de constance des rayons de courbure, qui viennent d'être indiquées, elles peuvent conserver leur forme caractéristique. Cependant, bien que leur tension superficielle contribue au maintien de cette forme, cette tension est impuissante à la maintenir seule, et d'autres influences extrinsèques doivent concourir, concurremment avec elle, pour le maintien de cette

[1] PLATEAU, loc. cit., ch. II.

forme; et, tel est le motif pour lequel Plateau, tout en donnant aux figures autres que la sphère le nom de figures d'équilibre, les appelle, néanmoins, des figures d'équilibre instable.

§ II.

Motifs autorisant à penser que le réseau endoplasmique du Paramaecium Aurelia *est un appareil vibratoire de haute fréquence.*

Pour essayer de démontrer cette hypothèse, rappelons que le réseau endoplasmique dont il s'agit est soustrait à l'action de la pesanteur, puisqu'il ne forme pas une surface plane, mais, bien, une figure tubulaire asymétrique en état d'équilibre au sein du liquide du paraplasma.

Rappelons encore, ainsi que Plateau l'a établi, qu'une figure soustraite à l'action de la pesanteur et en état d'équilibre, telle que l'est le réseau endoplasmique ne peut être qu'une figure à courbure moyenne constante.

Rappelons enfin un autre principe fondamental de Plateau, c'est à dire, qu'ainsi que les géomètres l'ont démontré, toutes les surfaces à courbure moyenne constante sont des surfaces à aire minima, c'est à dire moindres que toutes les surfaces comprenant les mêmes volumes et terminées aux mêmes limites.

Cela posé, recourons aux règles de l'attraction capillaire et de la tension superficielle des liquides formulées par lord Kelvin [1], notre illustre et regretté collègue.

Dans sa conférence *sur l'attraction capillaire des liquides*, lord Kelvin établit les trois principes que voici:

Premier principe. — La seule forme d'équilibre stable étant la sphère, quand un liquide est dans un état d'équilibre instable, l'effet de la tension superficielle est de lui imprimer une suite de vibrations tendant à modifier ses coordonnées géométriques de figure à aire minima et à la ramener à l'unique forme d'équilibre stable des liquides soustraits à l'action de la pesanteur, c'est à dire à la forme sphérique.

Deuxième principe. — Plus les rayons de courbure de la figure

[1] Sir WILLIAM THOMSON (Lord KELVIN), *Conférences scientifiques*, traduction française, ch. I.

sont petits, plus le travail accompli par les forces capillaires est considérable et, par conséquent aussi, plus la tension superficielle est grande et plus les vibrations de la figure sont fréquentes.

Troisième principe. — La fréquence des vibrations par seconde d'un corps en état d'équilibre instable est représentée par la formule :

$$V = \frac{1}{n} a^{\frac{3}{2}}$$

dans laquelle V représente le nombre des vibrations par seconde et a le rayon mesuré en centimètres. Ainsi, dit lord Kelvin, d'après cette formule, pour une goutte de rosée de $\frac{1}{4}$ de centimètre de diamètre on a $V = \frac{1}{4} a^{\frac{3}{2}} = \frac{1}{32}$ de seconde, c'est à dire 32 vibrations par seconde.

Dans le réseau endoplasmique du *Paramaecium Aurelia*, on peut évaluer, l'un dans l'autre, à environ $\frac{1}{5{\cdot}000}$ de centimètre les rayons de courbure des diverses régions du réseau, nous aurons donc, d'après la formule précédente :

$$V = \frac{5000 \times 5000 \times 5000}{2} = 62{\cdot}500{\cdot}000{\cdot}000$$

nombre moyen de vibrations par seconde de chacune des parties du réseau, et nombre bien fait assurément pour prouver que lord Kelvin n'était nullement exagéré, lorsqu'il affirmait dans la conférence où il donne cette formule, qu'avec des gouttes de liquides très petites on peut avoir un nombre de vibrations dépassant le nombre de vibrations par seconde de certaines radiations infrarouges [1].

Comme les vibrations du réseau endoplasmique ne peuvent avoir lieu sans une variation de sa tension superficielle et sans une déformation de sa surface, et, comme, dans un liquide, il ne peut y avoir ni variation de tension superficielle ni déformation de surface sans qu'il ne se produise en même temps une force électromotrice dans ce liquide [2], il suit de là que le réseau endoplasmique est le siège d'un courant électrique dont le potentiel est proportionnel au nombre

---

[1] Lord KELVIN, loc. cit., ch. I.
[2] JAMIN, *Physique*, t. IV, 1er fascicule, p. 315.

des vibrations du réseau, et, comme le nombre de ces vibrations est véritablement énorme, il suit de là que le courant électrique dont ce réseau est le siège, bien qu'étant d'intensité très faible, doit être, cependant, de potentiel extrêmement élevé, et qu'il n'est nullement opposé à la science de supposer qu'il a les caractères distinctifs des courants de haute fréquence. Il suivrait donc de là que le terme d'appareil vibratoire de haute fréquence dont nous avons cru pouvoir nous servir pour qualifier le réseau endoplasmique du *Paramaecium* serait un terme justifié.

§ III.

Motifs autorisant à penser que le réseau endoplasmique du Paramaecium *est un appareil autopropulseur d'une extrême énergie cinétique.*

Le mouvement circulatoire du réseau protoplasmique du *Paramaecium* et l'énergie exceptionnelle de ce mouvement circulatoire nous paraît être une conséquence nécessaire de l'état vibratoire du réseau.

En effet, comme nous l'avons vu dans la proposition précédente, l'effet du mouvement vibratoire sur un liquide soustrait, comme le réseau endoplasmique, à l'action de la pésanteur, et constitué en état d'équilibre instable, est de réduire ce liquide à l'état sphérique. Or, il est facile de prouver, que pour le réseau endoplasmique du *Paramaecium* une réduction des différentes parties de ce réseau à l'état sphérique équivaut à l'anéantissement dudit réseau et, en même temps, à la destruction complète de l'infusoire.

Pour le démontrer, soumettons, comme nous l'avons fait précédemment, un *Paramaecium* à l'action de l'iodohydrargyrate de potassium au millionième. Comme nous le savons déjà, l'action de ce poison a, tout d'abord, pour résultat de transformer le mouvement alternatif du *Paramaecium* en mouvement circulaire. Mais l'action du réactif ne s'arrête pas là. A mesure que la solution d'iodohydrargyrate agit sur l'infusoire, on voit celui-ci cesser complètement ses mouvements de locomotion, puis frissonner en se rappetissant et en se contractant de plus en plus. Soudain, le réseau endoplasmique se convertit tout entier en petits grains qu'on ne saurait mieux comparer qu'à de menus grains de plomb de chasse. Après cette réduction du réseau endoplasmique, à l'état sphérique, la masse de l'infusoire se dissout, ou, plutôt, s'effondre tout d'un coup, comme le ferait un édifice dont toutes les pierres,

soudain transformées en balles de plomb, rouleraient en s'écroulant les unes sur les autres.

Ce drame microscopique, très impressionnant et très saisissant malgré les dimensions infinitésimales de l'espace où il s'accomplit, et dont nous avons été témoins bien des fois, prouve avec la dernière évidence que la réduction du réseau endoplasmique à l'état sphérique amène sa destruction, et, conjointement, la destruction de l'infusoire. Cela étant, puisqu'il est démontré que l'action vibratoire du réseau tend, à tout instant, à le ramener à l'état sphérique, et, par conséquent à le détruire, il faut, pour que l'infusoire puisse subsister, que l'action vibratoire de son réseau soit contrebalancée à tout instant par une action contraire, d'intensité proportionnée à celle de l'action vibratoire, et capable de maintenir continuellement le réseau dans son état d'équilibre instable. Or, il existe une action capable d'exercer un tel effet sur une substance en état d'équilibre instable, et cette action n'est autre que le mouvement de rotation et de translation de cette substance. Il est prouvé en effet, que le mouvement peut donner de la stabilité aux corps les plus instables, et voici comment, dans une de ses conférences, lord Kelvin s'exprime à ce sujet :

« La toupie, le cerceau roulant des enfants, la bicyclette lancée « à toute allure, sont des cas de stabilité et de raideur élastique dûs « en quelque sorte, au mouvement. Les gyrostats permettent de « conserver avec une stabilité, une résistance et une élasticité com- « parable à celle que pourraient donner des barres d'acier, des po- « sitions verticales qui seraient absolument instables sans leur mou- « vement de rotation. Une chaine d'acier sans fin paraît rigide quand « on la fait rapidement tourner sur une poulie, et, quand on la fait « sauter hors de la poulie, et qu'on la laisse tomber par terre, elle « se tient droite et raide, jusqu'à ce que le contact et le frottement « des chainons contre le sol ait détruit tout son mouvement. Des « anneaux de fumée, animés d'un mouvement de rotation, peuvent « se choquer et rebondir, en conservant leurs formes, comme s'ils « étaient des ressort, d'acier, et c'est ainsi que le mouvement peut « transformer les corps les plus instables en véritables solides élas- « tiques » ([1]).

([1]) Lord Kelvin, *Conférences scientifiques*, trad. française, conférence IV : *L'élasticité envisagée comme mode de mouvement.*

Il est donc évident, d'après les faits que nous venons de citer, que le mouvement circulatoire du réseau endoplasmique, en supposant que ce mouvement fût d'intensité suffisante, pourrait conserver au réseau sa stabilité, tout en le maintenant dans son état d'équilibre instable sans lequel il ne peut subsister, mais ce mouvement existe-t-il réellement ?

Ce qui parait autoriser à le supposer, c'est la structure du réseau endoplasmique.

Pour peu qu'on veuille examiner les différentes coupes optiques du réseau endoplasmique dessinées dans ce mémoire, on trouvera qu'elles sont composées d'une suite de renflements et de tubes unis les uns aux autres et de forme véritablement étrange et singulière. Assurément ces tubes et ces renflements n'ont rien de la régularité de forme des tubes et des cylindres de nos machines, et, cependant il est permis de penser qu'ils constituent un mécanisme automoteur, bien autrement merveilleux que celui de nos locomotives. Une expérience de Plateau [1] nous permettra de le faire comprendre.

Au milieu d'une masse d'huile, versons avec précaution un mélange d'eau et d'alcool de même densité que cette huile. Comme ce liquide alcoolique est de densité égale à celle de l'huile et ne peut se mélanger avec elle, il formera une sphère flottant au milieu de cette huile. Touchons, maintenant, la superficie de cette sphère avec l'extrémité d'un tube de verre de 15 millimètres de diamètre. A peine l'ouverture du tube de verre est-elle arrivée en contact avec la superficie de la sphère de liquide alcoolique qu'un phénomène merveilleux se produit. La sphère se détend comme un ressort et perd subitement sa forme qui est, nous le savons, l'unique forme d'équilibre stable des liquides, et elle se transforme en une figure d'équilibre instable. Au même moment, grâce à sa tension superficielle, la nouvelle figure formée devient un appareil autopropulseur, et elle lance un jet de liquide alcoolique dans le tube de verre à peu près comme le cœur d'un être vivant lancerait un jet de sang dans une artère, en supposant que le mouvement de la circulation de cet être vivant soit un mouvement très lent. Une particularité des plus importantes à noter dans cette expérience, c'est que, plus les rayons de courbure de la figure d'équi-

---

[1] PLATEAU, loc. cit., ch. I, § III. *Vérification expérimentale des principales théories de l'attraction capillaire.*

libre instable sont petits, plus la tension superficielle de cette figure est forte et plus elle lance rapidement le liquide alcoolique dans le tube de verre.

En réfléchissant sur la signification de cette remarquable expérience, on voit qu'elle permet de formuler les conclusions que voici :

1°. Un liquide ayant une forme d'équilibre stable, c'est à dire une forme sphérique, est un réservoir d'énergie potentielle.

2°. Il suffit de faire passer ce liquide à une forme d'équilibre instable pour que son énergie potentielle soit transformée en énergie cinétique.

3°. L'intensité de cette énergie cinétique est inversement proportionnelle au rayon de courbure de la figure d'équilibre instable, de sorte que cette intensité ne cesse de grandir à mesure que le rayon de courbure devient plus petit.

4°. Si l'on suppose plusieurs figures liquides d'équilibre instable tangentes les unes aux autres et ayant, chacune, des formes et des rayons de courbure différents, en vertu du principe qui vient d'être énoncé au n° 3, les figures de plus petit rayon de courbure seront celles dont l'énergie cinétique sera la plus forte. Si donc toutes ces figures sont en communication les unes avec les autres, et se trouvent disposées de manière à ce que leurs tensions respectives, au lieu de se contrarier s'ajoutent les unes aux autres, il pourra se produire entre elles un mouvement circulatoire de liquide, mouvement ayant son origine dans la figure dont la tension superficielle est la plus forte et venant se terminer à celle dont la tension superficielle est la plus faible.

Or, tel est le cas du réseau endoplasmique du *Paramaecium Aurelia.* Il suffit de l'examiner pour voir qu'il se compose d'une très grande variété de figures liquides de rayons de courbure différents et communiquant les unes avec les autres. Rien ne nous empêche donc de supposer que ce réseau peut être un appareil circulatoire et un appareil autopropulseur, ayant en lui-même, grâce à la différence, et en même temps à la concordance de tension de ses parties respectives le principe de son mouvement circulatoire. Bien plus, deux motifs permettent de supposer que ce mouvement circulatoire est d'une exceptionnelle énergie.

Un premier motif qui le donne à penser, ce sont les dimensions extrêmement réduites des rayons de courbure des diverses figures d'équilibre instable dont se compose le réseau. Ces rayons de cour-

bure ont des dimensions de l'ordre du millième de millimètre; nous pouvons donc conjecturer, conformément aux règles énoncées plus haut, que leurs tensions superficielles sont capables de produire des effets d'impulsion d'une puissance extraordinaire, et de contrebalancer ainsi la puissance véritablement énorme des mouvements vibratoires de ce même réseau.

Un autre motif qui autorise à soutenir la même opinion, ce sont les alternances si fréquentes des tubes et des renflements qui s'observent dans le réseau. Ce point est d'une importance capitale et on nous permettra d'y insister.

Il y a longtemps que Claude Bernard a fait observer que, dans le réseau circulatoire de quelques vertébrés, la force impulsive du cœur est renforcée de distance en distance par certains renflements des veines et des artères, renflements intercalés de distance en distance et qui sont de véritables cœurs secondaires, conservant au mouvement impulsif du cœur sa force initiale jusque dans les régions les plus éloignées de la région cardiaque. « C'est ainsi » dit Claude Bernard dont nous citons les paroles [1] « que la Chimère a deux cœurs placés sur « le trajet du courant circulatoire sanguin; en outre, certaines artères » sont considérées comme des cœurs parce que, par leur structure, « elles en remplissent plus ou moins les fonctions. La chauve-souris, « par exemple, possède dans la membrane des ailes des artères qui « battent d'un mouvement synchrone et sont comparables à des cœurs. « Chez certains animaux, en effet, le cœur n'est plus constitué que « par des vaisseaux qui se contrebalancent d'une manière rythmique. » C'est ainsi que, dans les oreilles du lapin, on trouve un cœur arté- « riel de ce genre qui donne, également des pulsations rythmiques. « Pour la circulation lymphatique, la particularité que nous venons de « signaler est, on peut le dire, la règle générale, car tous les vais- « seaux lymphatiques sont pourvus de valvules, munies de fibres mus- « culaires formant de véritables cœurs favorisant la propulsion et la « circulation de la lymphe ».

Une réflexion qu'il nous paraît essentiel de faire, après avoir cité les paroles de l'illustre physiologiste, c'est que toutes ces structures des conduits artériels veineux et lymphatiques, structures en forme de

---

[1] Claude Bernard, *Circulatiou capillaire*. Revue des cours scientifiques, 1865-1866, p. 291.

renflements qui favorisent la circulation des liquides organiques dans une direction déterminée, peuvent être suppléés par les renflements du liquide lui-même, lorsque ce liquide est en suspension dans un autre iquide de même densité que lui, et qu'il est animé d'un mouvement circulatoire. Nous savons déjà, d'après l'expérience de Plateau, qu'un iquide à figure d'équilibre instable en forme de renflement est capable de lancer un jet de liquide dans un tube de verre à peu près comme le cœur d'un être vivant est capable de lancer un jet de sang dans une artère, eh bien, supposons un instant que la composition chimique du sang soit de telle nature qu'il puisse traverser les différents liquides de l'organisme sans se mélanger avec eux, n'aurions-nous pas le droit de penser, d'après l'expérience dont nous parlons, qu'il suffirait de donner au liquide sanguin une figure de renflement semblable à celle du liquide de l'expérience de Plateau, pour que ce liquide sanguin fût animé d'une force propulsive, si, non égale, du moins, analogue à celle qu'il recevrait des renflements veineux ou artériels qui jouent dans l'organisme de certains êtres vivants le rôle de cœurs secondaires?

Supposons, maintenant que, dans un être vivant ces renflements des veines et des artères, au lieu d'être en petit nombre et très éloignés les uns des autres, soient, au contraire, très nombreux et très rapprochés, ne pourrions nous pas dire, en considérant leur nombre et leur proximité, que. non seulement ils doivent conserver la force propulsive du cœur, mais qu'ils doivent encore augmenter l'effet de cette force propulsive, puisqu'il est impossible que cette force propulsive diminue d'intensité dans le trajet très court qui séparerait les uns des autres des renflements artériels ou veineux très rapprochés? Cela étant, n'avons nous pas le droit d'émettre la même supposition en considérant le nombre très grand et la proximité non moins grande des renflements du réseau endoplasmique du *Paramaecium*, et ne sommes nous pas autorisés à dire que, vu leur nombre, leur rapprochement et l'extrême énergie de tension superficielle que dénote la petitesse extrême de leurs rayons de courbure, ils forment un système propulseur dont chaque élément ajoute une nouvelle force motrice à celle des éléments qui le précèdent et qu'ils peuvent être assimilés, qu'on nous permette cette comparaison, à des éléments de pile montés en série et qui ajoutent les uns aux autres leurs tensions respectives? Il est donc légitime de notre part de supposer, comme nous le faisons, que le réseau endoplasmique du *Paramœcium Aure-*

lia est un appareil autopropulseur d'une énergie cinétique véritablement exceptionnelle.

§ IV.

Motifs autorisant à penser que l'appareil circulatoire du Paramaecium Aurelia *est un des plus parfaits qui puissent se rencontrer chez les êtres vivants.*

Nous reconnaissons volontiers que toutes les explications données jusqu'ici dans cet essai d'interprétation du rôle du réseau du *Paramaecium* n'auraient qu'une valeur bien hypothétique et que nous n'aurions pas même osé les formuler si nous n'avions eu, comme garantie de la légitimité de nos inductions des faits bien et dûment constatés, faits qu'il est temps de rappeler et qui rendent, si non certaines, du moins très probables toutes les assertions précédemment émises dans ce chapitre, en même temps qu'ils servent de preuve à l'opinion énoncée en tête du présent paragraphe.

Un premier fait, absolument incontestable, c'est que le *Paramaecium* est animé d'un double mouvement d'excrétion, se portant alternativement et régulièrement de l'une à l'autre de ses extrémités, et que tous les auteurs comparent à un mouvement de sistole et de diastole, parcequ'il est impossible de ne pas reconnaître que l'endoplasma de l'infusoire, comme le cœur de l'être vivant, est le théâtre d'une circulation régulière de liquide, circulation accumulant périodiquement et alternativement à chaque extrémité de l'infusoire les liquides excrétés par l'endoplasma et rejetés au dehors par le moyen des vésicules pulsatiles.

Il est bien évident qu'un mouvement de circulation et d'excrétion endoplasmique d'une telle périodicité et d'une telle régularité ne peut être occasionné que par le moyen d'un appareil de structure constante et régulière existant dans l'endoplasma. Or, les deux seuls organes structurés qui existent dans l'endoplasma sont le noyau et le double réseau endoplasmique avec la cloison qui le sépare en deux sections distinctes. Ce n'est, évidemment, pas le noyau qui peut jouer le rôle d'organe d'une telle circulation: il ne reste donc, comme capable d'exécuter cette fonction que le réseau endoplasmique, et tel

est le motif pour lequel il est indispensable d'admettre que le réseau endoplasmique est un organe circulatoire, ainsi que du reste, le démontrent *a priori* les raisons exposées précédemment.

Examinons maintenant les motifs qui démontrent la perfection véritablement prodigieuse de cet appareil circulatoire.

Un premier motif, c'est que, tandis que dans les animaux supérieurs l'appareil circulatoire est toujours sujet à une sénescence qui amène fatalement la mort de l'individu, dans le *Paramaecium* et dans les autres infusoires, au contraire, la sénescence de l'appareil circulatoire peut être perpétuellement empêchée par la conjugaison de deux individus s'effectuant au bout d'un nombre de bipartitions déterminé. Cette conjugaison a pour effet d'empêcher la dégénérescence des fonctions vitales de l'infusoire et, par conséquent la dégénérescence de l'appareil circulatoire qui, ainsi que nous le verrons, joue un si grand rôle dans ces fonctions, et si le milieu où vit l'infusoire est favorable, cette conjugaison est susceptible d'assurer constamment à l'infusoire, au moyen de son appareil circulatoire une distribution de fluide vital lui permettant de se multiplier indéfiniment par bipartition et le rendant, en quelque sorte, immortel.

Un deuxième motif, c'est que si l'appareil circulatoire du *Paramaecium* n'est pas la cause déterminante unique de la fonction chimiotactique de l'infusoire, il en est, du moins, une des causes principales, puisqu'il entretient continuellement le renouvellement et la circulation des liquides physiologiques par le moyen desquels le chimiotactisme s'effectue.

C'est à l'aide de cette fonction chimiotactique dont il est doué que l'infusoire opère la phagocytose des bactéries qui pullulent dans les eaux où il vit et qui forment son aliment principal, et cette fonction chimiotactique est tellement active que les résidus des substances bactériennes assimilées par l'infusoire, résidus excrétés par le moyen de ses vésicules pulsatiles peuvent former tous les $^1/_4$ d'heure un volume égal au volume du corps de l'infusoire lui même [1].

---

[1] Le volume du liquide excrété par les deux vésicules pulsatiles de la partie visible du *Paramaecium* peut être calculé égaler, chaque $^1/_4$ d'heure, la moitié du volume de son corps; mais comme l'infusoire a une partie invisible, tournée vers le porte-objet, et semblable à la partie visible à l'observateur, et pourvue également de deux vésicules pulsatiles, il en résulte que la quantité excrétée par les quatre vésicules pulsatiles (dont deux visibles et deux invisibles) doit être calculée égale au chiffre que nous indiquons.

Pour avoir quelque idée de l'activité circulatoire que suppose cette quantité de substances excrétées, il est nécessaire de se rappeler que, dans l'homme dont la circulation sanguine s'opère avec une rapidité de 25 centimètres par seconde, environ, le volume des substances excrétées en 24 heures est égal, en terme moyen, à la vingt-cinquième partie du volume du corps [1]. Il résulte donc de là que l'activité physiologique de l'infusoire, activité entretenue par sa fonction circulatoire est, à peu près 2450 fois supérieure à l'activité physiologique avec laquelle l'homme opère ses excrétions. En supposant donc que cette activité soit directement proportionnelle à la vitesse de la circulation de l'infusoire, il faudrait admettre que cette vitesse de la circulation est, dans l'infusoire 2450 fois supérieure à la vitesse de la circulation du sang dans l'homme, c'est à dire que le liquide physiologique qui circule dans le réseau endoplasmique du *Paramaecium* opère cette circulation avec une vitesse de près de 500 mètres par seconde. Comme on peut admettre que les divers tubes qui composent le réseau endoplasmique ont dans leur totalité une longueur de 10 centimètres au maximum, il s'ensuivrait que le liquide physiologique en question ferait cinq mille fois en une seconde le tour complet du système circulatoire de l'infusoire sans que la vitesse excessive de cette circulation lui fasse rien perdre de l'efficacité de sa puissance chimiotactique. Evidemment de tels chiffres ne pourraient être considérés comme rigoureusement exacts que s'il était démontré que la rapidité des phagocytoses bactériennes opérée par l'infusoire est rigoureusement proportionnelle à la rapidité de sa circulation. Or, nous reconnaissons volontiers qu'une telle opinion est hypothétique et que d'autres causes que la rapidité de la circulation, par exemple les causes chimiques, peuvent et doivent contribuer puissamment à cette activité extraordinaire de la phagocytose. Cependant, il n'en est pas moins nécessaire d'admettre, ainsi que nous le faisions observer il n'y a qu'un instant, que même en supposant qu'elle soit due exclusivement à une activité chimique, cette prodigieuse faculté de décomposition bactérienne que possède l'infusoire exigerait un renouvellement continuel et excessivement rapide des liquides physiologiques de l'infusoire mis en contact avec les bactéries à décomposer chimiquement. Or les études de Becquerel

[1] BÉCLARD, *Physiologie*, trad. espagnole, p. 244.

sur l'osmose prouvent [1] qu'un renouvellement aussi rapide est absolument disproportionné à la puissance des forces osmotiques. Il est donc indispensable pour l'expliquer d'damettre l'action *d'un appareil renouvelant continuellement les liquides en contact avec les substances à décomposer*, ce qui revient à dire qu'il est indispensable d'admettre l'existence d'un appareil circulatoire d'une perfection et d'une rapidité de fonctionnement proportionelle avec la rapidité des phagocytoses à effectuer, c'est à dire l'un des plus parfaits dont l'existence puisse être constatée.

Un troisième motif démontrant l'extrême perfection de l'appareil circulatoire du *Paramaecium*, c'est que, si l'infusoire excrète, il assimile aussi des substances provenant de la décomposition des bactéries dont il se nourrit, et la quantité de ces substances assimilées est tellement considérable qu'elle permet à l'infusoire d'opérer 4 bipartitions successives en 24 heures, c'est à dire de se multiplier 16 fois dans le même laps de temps. Un calcul facile à faire prouve qu'en 8 jours un seul *Paramaecium* dont le poids égale $\frac{1}{800}$ de milligramme à peine serait capable, en supposant des circonstances tout à fait favorables, de former une masse du poids de 1 Kilogramme équivalant à 800.000.000 d'individus, et qu'en 64 jours, en supposant toujours les même circonstances, il serait capable de former une masse en comparaison de laquelle notre soleil ne serait qu'un atome.

Si la seule fonction excrétoire de l'infusoire exige de toute nécessité l'existence d'un appareil circulatoire, il est bien évident que l'adjonction d'une fonction assimilatrice d'une aussi énorme puissance à cette fonction d'excrétion ne fait que prouver davantage que cet appareil doit exister et qu'il doit être des plus parfaits.

Du reste, la structure du réseau endoplasmique répond bien aux faits que nous venons de rappeler. Comme nous l'avons vu au paragraphe II de ce chapitre, chacun des renflements du réseau peut être considéré comme un appareil autopropulseur, c'est à dire, comme un cœur. Comme dans chaque plan optique du réseau l'on compte une cinquantaine de ces renflements et comme le réseau du *Paramaecium* se compose de deux séries de plans séparées par une cloison intermédiaire et comme chacune de ces deux séries se

[1] BECQUEREL, *Les forces physico-chimiques*. L. III: *Les forces capillaires*, ch. V.

compose à son tour de six plans différents, ce sont donc, environ 600 appareils autopropulseurs équivalant à autant de cœurs que le *Paramaecium* contient dans un volume équivalent à la huit centième partie d'un millimètre cube. La petitesse presque infinitésimale de ces renflements, ainsi que nous l'avons fait remarquer, bien loin de diminuer la puissance de leur force propulsive, ne fait que l'accroître, en raison même de la diminution des rayons de courbure. Comme la force caractéristique du cœur c'est la force propulsive qu'il communique au liquide sanguin chargé du maintien de la vie, nous avons le droit d'affirmer que, sous ce rapport, et en vertu même de sa structure, le réseau endoplasmique du *Paramaecium*, et celui de tous les infusoires en général, l'emporte en perfection sur tous les organes de propulsion sanguine appartenant aux êtres vivauts des autres classes.

§ V.

La structure du réseau endoplasmique du Paramaecium *et la théorie myogène de l'automatisme du cœur.*

Les études les plus récentes paraissent démontrer que, pour se contracter, les fibres du cœur n'ont pas besoin de l'influence des fibres nerveuses. Nous n'avons pas le temps d'exposer ici les divers arguments qui tendent à prouver cette opinion, et que l'on trouvera résumés d'une façon magistrale dans un remarquable et tout récent article publié dans la *Revue Scientifique* ([1]).

L'automatisme du cœur existe, comme on le sait, dans les premiers stades de la vie de l'embryon. Un fait connu depuis longtemps, par exemple, c'est que le cœur embryonnaire du poulet commence à battre dès la 36ème heure de l'incubation, alors qu'il est formé de cellules contractiles non différenciées et qu'on ne peut y distinguer encore ni muscles, ni cellules nerveuses. Les recherches de His ont démontré que les cellules nerveuses ne se forment pas sur place dans le cœur des vertébrés, mais qu'elles émigrent tardivement (sixième jour d'incubation chez le poulet) des centres nerveux cérébro-

([1]) Revue scientifique, 6 juillet 1907. LÉON FREDERIQ, *Théorie de la pulsation cardiaque.*

spinaux dans la substance du cœur ([1]). Il est donc certain que chez le jeune embryon la substance du coeur bat spontanément par automatisme propre, sans excitations provenant des fibres ou des cellules nerveuses. Dans le cours du développement et même dans les vertébrés adultes, nous disent les partisans de la théorie myogène de l'automatisme du cœur, cet automatisme se conserve encore, bien que d'une manière très inégale, dans les divers segments du cœur ([2]).

En admettant que la théorie myogène soit vraie, et à l'heure présente, dit Léon Frédériq, elle est plus acceptable que la théorie neurogène ([3]), il s'en suivrait que la structure du réseau endoplasmique du *Paramaecium*, telle que nous l'avons décrite pourrait servir à expliquer, si non complètement, du moins de quelque manière, le fait si mystérieux des battements du cœur de l'embryon durant la période où tout élément du système nerveux lui fait encore défaut, et aussi la conservàtion de cet automatisme dans les régions spéciales du cœur de l'adulte, d'où les ondes impulsives se propagent par tout le reste du cœur.

L'idée que nous exprimons nous a été inspirée par l'examen microscopique d'une remarquable série de coupes du cœur de l'embryon du poulet exécutées par notre savant ami, le R. Père Bolsius S. J. Les coupes en question ont été pratiquées sur un embryon de 6 jours, c'est à dire au moment précis où les éléments nerveux commencent à émigrer vers le cœur de l'embryon. Comme cette migration est à peine commencée, le cœur conserve encore sa structure primitive dont il est facile de se faire une idée en employant une série d'amplifications allant de 70 à 1000 diametres.

Evidemment, la structure du cœur de l'embryon du poulet n'est pas identique à celle du réseau endoplasmique du *Paramaecium*. Cependant, entre ces deux organes il existe de telles analogies de structure qu'il est difficile de ne pas se sentir incliné à penser que les causes qui font du réseau endoplasmique du *Paramaecium* un appareil autopropulseur sont précisément les mêmes qui font du cœur de l'embryon des vertébrés un appareil automoteur. En effet, comme le réseau endoplasmique du *Paramaecium*, le cœur de l'embryon du

---

([1]) Idem, ibid.
([2]) Idem, ibid
([3]) Idem, ibid.

poulet est formé d'une grande quantité de renflements, assimilables à autant d'appareils automoteurs subordonnés les uns aux autres et dont l'ensemble harmonique (s'il est permis d'employer ce terme) forme cet organe de propulsion sanguine qui, dans les animaux des classes supérieures s'appelle le cœur. Dans le cœur de la salamandre adulte nous avons trouvé une disposition analogue à celle que nous avions observée dans le cœur de l'embryon du poulet. Les observations que nous venons d'exposer nous paraissent donc conduire à cette conclusion singulière et inattendue que le cœur, c'est à dire l'organe vital par excellence des animaux considérés comme les plus parfaits est doué de puissance automotrice, précisément en vertu de l'analogie de sa structure avec l'organe circulatoire d'un être vivant que les naturalistes classifient parmi les plus imparfaits, les plus infimes et les plus rudimentaires de l'échelle zoologique. Et cependant, au point de vue de la rapidité des échanges nutritifs, de la faculté d'assimilation et de la puissance reproductrice, cet être vivant qualifié d'inférieur et d'infime est incomparablement supérieur aux types regardés comme les plus perfectionnés!

CONCLUSION.

Dans les classifications zoologiques actuelles, sans faire attention à la perfection des fonctions physiologiques de l'être vivant, l'on ne tient compte que de la complication plus ou moins grande de ses organes qui, cependant, ne jouent pas d'autre rôle que celui d'instruments de ces fonctions physiologiques, et l'on admet, *à priori*, que plus ces organes sont nombreux et compliqués plus élévé doit être, sur l'échelle zoologique, le poste occupé par l'être qui les possède. Doit-on dire d'une telle opinion qu'elle est scientifique? Nous ne le croyons pas, et quelques comparaisons nous permettront d'expliquer notre pensée. Si dans une classification des appareils moteurs, on plaçait les turbines à vapeur si simples de structure et si puissantes d'effets au dessous de nos machines à vapeur ordinaires sous prétexte qu'elles ont des engrenages et des appareils de transmission moins nombreux et moins compliqués que celles-ci, une telle classification serait-elle soutenable? Assurément non. Dans une classifications des

machines balistiques, oserait-on mettre nos canons modernes au des sous des catapultes du moyen âge, en alléguant comme motif qu'ils sont composés de pièces et de charpentes moins compliquées et moins nombreuses que les énormes machines de guerre d'autrefois? La réponse est tellement évidente que nous n'osons pas même l'indiquer. Et, cependant, fait-on autre chose que ce que nous venons de dire, quand, sans tenir compte de la perfection des opérations physiologiques d'un être vivant, on ne fait attention, pour le classifier, qu'à la complexité plus ou moins grande de sa structure anatomique?

Un passage des écrits de Claude Bernard qu'on nous permettra de citer prouvera que les idées que nous venons d'exprimer sont conformes à celles de ce grand physiologiste.

« Nous avons déjà enseigné (1) » disait ce grand homme « que « pour étudier une fonction vitale, il ne fallait pas, pour la trouver « plus simple, la prendre dans un animal inférieur, mais bien dans un « animal élevé où elle est plus isolée, et par suite plus facile à saisir « et se prête mieux à l'expérimentation. Il ne faudrait pas croire, en « effet, que l'animal inférieur est plus simple et que ses fonctions sont « moins compliquées ou moins nombreuses, et qu'on pourrait les pren- « dre pour ainsi dire, à leur naissance pour suivre ensuite leur déve- « loppement dans les animaux supérieurs qui auraient ainsi des pro- « priétés nouvelles se surajoutant aux premières. L'animal inférieur « possède toutes les propriétés qu'on retrouve aux degrés les plus « élevés de l'échelle des êtres, mais il les possède répandues, pour « ainsi dire, dans toutes les parties de son corps. Ainsi, l'infusoire qui « s'agite et se dirige dans le liquide où il a pris naissance possède « évidemment la propriété de se mouvoir. Il doit être doué de sen- « sibilité pour déterminer ses mouvements. Enfin il peut se reproduire, « puisque l'espèce ne périt pas. Voilà donc la vie à son degré le plus « infime avec toutes les fonctions qu'elle manifeste dans les animaux « élevés. Mais, quand on cherche les organes de chacune de ces « fonctions, on ne peut plus rien distinguer et c'est à ce point de vue « seulement qu'on doit parler de la prétendue simplicité des animaux « inférieurs. Il est, à la vérité, permis de dire que l'animal élevé re- « présente et résume ceux qui le précèdent dans l'échelle des per-

(1) CLAUDE BERNARD, *Des organismes, de l'anatomie et de son histoire*, 5ème leçon. Revue des cours scientifiques, 9 avril, 1864, p. 233.

« fections successives, *mais au fond, il n'est ni plus parfait, ni plus* « *élevé;* il ne possède pas de fonctions essentielles que les autres ne « possèdent aussi; seulement ces fonctions sont mieux isolées chez lui « et manifestées avec luxe; voilà tout ».

Lorsque Claude Bernard écrivait ces paroles, on ne connaissait pas encore la perfection de certaines opérations physiologiques des êtres inférieurs, comme on la connait aujourd'hui. Nous croyons que s'il vivait à notre époque il ne désapprouverait pas l'opinion que nous venons d'exprimer.

Nous ferons remarquer encore que, dans les classifications actuelles, on admet comme un dogme intangible que tout métazoaire, par le fait seul qu'il est composé de plusieurs cellules, est incomparablement supérieur à n'importe quel protozoaire, parceque celui-ci n'est que monocellulaire, et cependant, dit Yves Delage [1] « il y a des « protozoaires aussi élevés en organisation que des métazoaires. Un « infusoire supérieur, avec son tégument cilié, ses muscles, sa bou- « che, son anus, son pore urinaire, sa vésicule pulsatile, ses canaux « excréteurs, sa couronne ciliaire péribucale, ses trochocystes, son « armature pharyngienne, etc., est certainement aussi différencié, je « ne dis pas comme tissu, mais comme organes, qu'une planaire in- « férieure, une *Convoluta*, par exemple, qui n'a point de tube digestif « et digère les aliments dans le parenchyme général de son corps; « il est presque aussi élevé qu'un rotifère ou que le trochophore d'un « ver annelé ».

Nous osons penser que les faits d'expérience rapportés dans ce mémoire seront peut-être une preuve nouvelle de l'exactitude des paroles que nous venons de citer.

S'il nous fallait exprimer notre opinion au sujet de certaines classifications aujourd'hui fort en vogue, nous dirions que la structure et les fonctions physiologiques des êtres qu'on appelle inférieurs ne sont pas assez connues pour qu'on puisse établir entre eux et les autres animaux des termes de comparaison suffisamment exacts, et que par conséquent les classifications dont nous parlons, malgré leur intransigeance et leur prétention à l'infaillibilité ne sont pas suffisamment sûres.

La structure et les fonctions des êtres qu'on désigne sous le nom

[1] YVES DELAGE, *La conception polyzoïque des êtres*. Rev. scientifique, 1906, t. I, p. 649.

de protozoaires forment un sujet d'étude extrêmement délicat. Pour connaître la structure de ces êtres énigmatiques, il est nécessaire de créer des méthodes nouvelles, et lorsque ces méthodes auront produit leurs résultats, une autre tâche s'imposera, tâche non moins ardue que la première et qui sera l'interpretation du rôle physiologique des structures découvertes. Notre opinion, ou plutôt notre conviction intime est que dans cette interprétation la physico-chimie et la physique moléculaire doivent jouer un grand rôle et que les immortelles leçons de J. PLATEAU, de Lord KELVIN, de WILHELM ROUX et de LÉO ERRERA ne sauraient être trop médités par ceux qui se consacreront à l'étude de ces questions dont la difficulté ne le cède qu'à l'importance.

Heureux serions nous, s'il pouvait être dit de ce modeste travail qu'il a contribué à rendre acceptable une opinion que nous regardons comme une des hypothèses les plus fécondes de la biologie générale, à savoir, *que les figures d'équilibre instable qui sont presque exclusivement les figures de tous les éléments morphologiques des êtres vivants peuvent et doivent être assimilées à des appareils vibratoires de haute fréquence*, produisant des courants de très haut potentiel, courants, qui malgré leur intensité très faible sont, à cause de ce très haut potentiel, d'une très grande puissance, et contribuent, concurremment avec les autres actions vitales, à donner aux frêles appareils organiques où ils ont leur siège, le pouvoir d'opérer des décompositions et des synthèses en comparaison desquelles les décompositions et les synthèses de nos laboratoires ne sont pas même des jeux d'enfants.

Plus la science pénètre les questions biologiques, plus elle y découvre d'abîmes insondables. C'est sous l'empire de cette pensée qu'un membre de l'Institut de France, le Dr PIERRE BONNIER écrivait tout récemment ces paroles [1] qui serviront de conclusion à notre mémoire et qu'on nous permettra de citer en les abrégeant: « Il n'est pas plus difficile de créer d'emblée un éléphant que de créer une parcelle de matière organique. Pour résoudre ce dernier problème il faudrait être aussi créateur que le Créateur, aussi puissant que l'Etre infini ».

---

[1] Dr. PIERRE BONNIER, *Le monde végétal.* Paris 1907, p. 384.

SOPRA

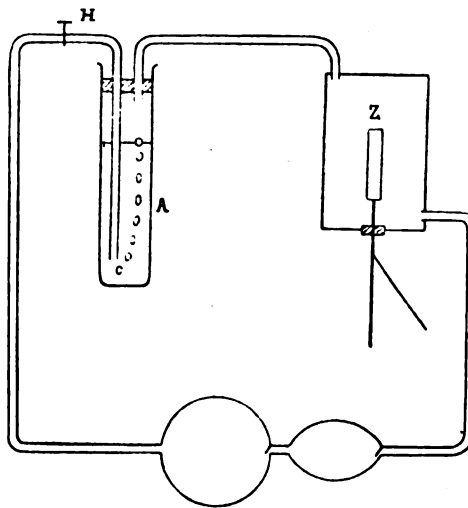
ALCUNI FENOMENI DI IONIZZAZIONE

OTTENUTI CON L'ACQUA PIOVANA

NOTA

dei Soci G. COSTANZO e C. NEGRO

Facendo seguito alle nostre ricerche sulla ionizzazione prodotta dalla precipitazione atmosferica ([1]), abbiamo pensato di sottoporre l'acqua piovuta di fresco allo stesso trattamento a cui avevamo sottoposta nel passato inverno la neve.

Per mezzo di una pompa di gomma si produceva un getto continuo d'aria entro una certa quantità d'acqua (25 grammi) piovuta di recente e racchiusa in una provetta A. L'intensità di questo getto d'aria era regolabile mediante il rubinetto H, sicchè si produceva nell'acqua un gorgoglio continuo ed uniforme. L'aria dopo aver attraversato l'acqua passava in una scatola metallica a chiusura ermetica e in contatto col suolo, dalla quale poi era aspirata dalla pompa, e tornava a circolare come prima. Questa scatola conteneva, come corpo dispersore di un elettroscopio a foglia di alluminio, un cilindretto Z di ottone ossidato, isolato perfettamente con ambra. Per la nostra ricerca facevamo agire la pompa per 5 minuti, e leggevamo le diminuzioni di carica che ne seguivano nell'elettroscopio, osservando l'abbassamento della fogliolina d'alluminio per mezzo di un microscopio fornito di micrometro oculare.

([1]) *Atti Acc. N. Lincei*, t. LIX, LX, LXI; *Phys. Zeitschr.* VII, 1906; *Jahr. der Radioakt. und Elektronik*, V, 1908.

Sebbene non abbondantissime, le pioggie primaverili di quest'anno furono abbastanza copiose per metterci in condizione di fare un numero di osservazioni meno ristretto di quello a cui ci siamo dovuti limitare per le nevi [1].

I giorni in cui si fecero le osservazioni furono il 10 e il 29 marzo, il 7, 13, 14 e 21 aprile; e l'andamento della precipitazione in detti giorni non presentò nulla di anormale se s'eccettuano il 10 marzo e il 21 aprile. Le giornate furono piovose e coperte quali sogliono essere in primavera.

La carica dell'elettroscopio era sempre compresa tra i 305 e i 368 volts, e le letture fatte per mezzo del microscopio permettevano di stimare la perdita di 0,1 volt. Dato il piccolo campo di variazione della carica iniziale non si credette necessario ridurre questa ad un valore costante, come suol farsi nelle misure di dispersione atmosferica.

Cominciamo dal riferire i valori medii delle serie di osservazioni fatte col procedimento predetto. Si vedrà che nella stessa giornata, del 29 marzo, corrisponde più di un valore. Questo è dovuto al fatto che si fecero per quel giorno determinazioni in condizioni differenti, come sarà detto in seguito.

Giorno	Dispersione + in 5m volts	Dispersione — in 5m volts
10 marzo	3,8	0,4
29 marzo	0,7	0,9
	3,8	2,3
	2,1	2,8
7 aprile	2,6	0,6
13 »	0,3	1,2
14 »	1,3	1,6
21 »	2,9	0,9
	Valor medio = 2,31	*Valor medio* = 1,31

Come si vede, ci troviamo avanti ad una serie di valori che si presentano tutt'altro che uniformi. È ciò che doveva pur prevedersi ora che è noto quanto influiscano sui fenomeni di ionizzazione i fattori meteorologici che accompagnano la precipitazione.

Di singolare importanza appariscono le osservazioni del 10 marzo,

[1] *Atti Acc. N. Lincei* LXI, sess. VI; *Jahr. d. Rad. u. Elektron.*, V, p. 120, 1908.

giorno in cui si ebbe la minima dispersione con carica —, e la massima con carica +. La giornata presentò sempre caratteri spiccatamente temporaleschi; il vento, come può vedersi dalla tavola che segue, fu violento e soffiò costantemente da W e SW. Verso le 9^h si ebbero solo poche goccie di pioggia; alle 12_h invece si riversò una pioggia grossa e abbondante sebbene durasse pochi minuti; dalle 13^h 45^m alle 14^h finalmente si ebbe pioggia, grandine, nevischio, lampi, e tuoni.

Raccolta in un vaso di porcellana l'acqua che proveniva dalla pioggia e dalla fusione della grandine e del nevischio, facemmo le osservazioni che diedero la dispersione di volts 3,8 per la carica +, e di 0,4 per la carica —.

Ciò tende a dirci che l'aria gorgogliando attraverso l'acqua di pioggia mescolata con l'acqua proveniente dalla fusione del nevischio e della grandine, trascinava seco un minimo di ioni positivi e un massimo di ioni negativi. Questo fatto poi può servire di conferma a quanto fu ripetutamente constatato, che cioè i ioni negativi sono centri di condensazione a preferenza di quelli positivi. I numerosi ioni, sia positivi che negativi, che prima del temporale vagavano liberi nell'atmosfera, venendo a contatto con vapori soprassaturi, dovettero favorirne la condensazione, prevalendo in tale azione l'efficacia dei ioni negativi. Questi ioni rimasti legati alla precipitazione furono forse resi liberi dal gorgoglio dell'acqua e determinarono la dispersione elettrica ottenuta.

Ci confermano in questa spiegazione le osservazioni contemporanee fatte con l'apparecchio di Elster e Geitel. Esse dimostrano che per quasi tutta la giornata prevalsero nell'atmosfera i ioni negativi, come risulta dai valori della dispersione elettrica riportati nella seguente tavola.

ora	a —	a +	q	Barometro	Temper.	Cielo	Vento
$7^h,30^m$	2,51	3,15	0,79	748,3	8,5	5 Cn	SW (4)
9,40	3,82	4,41	0,86	747,7	11,0	8 Cn	W (3)
11,40	4,76	5,21	0,91	747,7	12,0	9 Cn	SW (3)
13,30	1,92	1,89	1,01	747,3	12,3	8 Cn	W (2)
16,00	2,48	5,65	0,44	747,0	10,0	4 Cn	W (1)
18,30	3,65	2,50	1,46	747,4	8,5	2 Cn	W (1)
20,00	1,09	0.83	1,31	747,5	7,0	8 Cn	W (1)

Come si vede la prevalenza dei ioni negativi tende a scomparire con l'approssimarsi dell'ora del temporale, e si ha infine una unipolarità opposta che potrebbe essere spiegata dall'assorbimento, avvenuto per la condensazione, di una quantità relativamente maggiore di ioni negativi.

Le osservazioni del 10 marzo ora riferite trovano una conferma in quelle del 21 aprile, in cui si riprodussero gli stessi fenomeni sebbene alquanto attenuati. In tal giorno si ebbe pioggia e grandine verso le $16^h\ 45^m$, e l'acqua cimentata derivava dall'acqua di pioggia e dalla fusione della grandine. La dispersione dovuta all'aria gorgogliante risultò analoga a quella del 10 marzo, sia per la carica negativa (0,9 volt in 5^m) sia per la carica positiva (2,9 volts in 5^m).

Degne pure di particolare attenzione sono le osservazioni del 29 marzo. Da queste risulta che tanto la dispersione positiva quanto quella negativa furono in alcuni casi maggiori per la pioggia, in altri maggiori per l'acqua distillata. A dare una spiegazione di tali apparenti anomalie gioverà tenere presenti le circostanze in cui furon condotte le determinazioni.

La pioggia era cominciata sino dalla sera del 28, ed era continuata abbondante durante tutta la notte dal 28 al 29. Le prime osservazioni furono fatte sull'acqua caduta durante tutta la notte raccolta al solito in una bacinella di porcellana. Da questa acqua sottoposta al solito procedimento di gorgoglio si ebbe una tenuissima dispersione sia per la carica positiva che per quella negativa. Si ebbe infatti in 5^m di funzionamento della pompa una perdita di 0,7 volts per la carica positiva di 0,9 per quella negativa.

Le seconde osservazioni furono fatte su acqua raccolta dalla pioggia caduta nel mattino (9^h-$11'$). I valori ottenuti per la dispersione furono relativamente grandi, con una dispersione minore per le cariche negative; si ebbe infatti una perdita di 3,8 volts per la carica +, di 2,3 per quella —.

Dall'acqua caduta tra le 12^h e le 16^h i valori della dispersione sono differenti ancora: 2,1 volts per la carica positiva, 2,8 volts per la carica negativa.

Le osservazioni fatte sull'acqua di pioggia in questa giornata dimostrano quanto possa variare la quantità dei ioni liberi sia positivi che negativi trasportati dall'acqua, e come non è nemmeno costante il rapporto tra il numero di ioni positivi e negativi.

La dispersione atmosferica che si ebbe nella giornata (apparecchio di Elster e Geitel) è riportata nella tavola che segue:

ora	a —	a +	q	Press. bar.	Temper.	Cielo	Vento
8	2,01	1,83	1,10	766,5	5,0	10 Cu	W (1)
10	1,71	2,03	0,86	766,5	5,7	10 Cu	NW (1)
12	1,72	2,05	0,84	766,5	5,7	14 Cu	NW (1)
14	2,43	2,70	0,90	766,5	5,7	10 Cu	NW (1)
16	2,57	2,65	0,97	766,5	5,5	10 Cu	W (1)
18	0,94	1,04	0,90	765,5	5,3	10 Cu	W (1)
20	1,11	0,71	1,56	765,3	5,3	10 Cu	W (1)

Si rileva da questa tavola che, *a*) la dispersione della carica + prevalse lungo tutta la giornata, se si eccettuano le due osservazioni delle 8^h e delle 20^h; *b*) durante tutta la giornata la dispersione ebbe un valore abbastanza forte per ambedue le cariche.

Quanto ai valori ottenuti nei giorni 7, 13, 14 aprile, riesce difficile dare una interpretazione. Nulla di anormale fu osservato nei fattori meteorologici: il cielo si mantenne nei tre giorni continuamente coperto. Mentre il 7 aprile il vento fu prevalentemente di W, il 13 ed il 14 soffiò specialmente da E.

Intanto dai fatti sopra riportati possiamo rilevare che *a*) la dispersione della carica positiva, osservati nell'aria che aveva gorgogliato nell'acqua piovana, fu maggiore nei giorni registrati nel seguente quadro:

Giorno	Dispers. + in 3^m volts	Dispers. — in 3^m volts	Circostanze notevoli
10 marzo. . . .	3,8	0,4	L'acqua fu cimentata appena caduta. Era acqua di pioggia, di nevischio e di grandine.
29 »	3,8	2,3	L'acqua era di pioggia, e fu cimentata appena caduta.
7 aprile. . . .	2,6	0,6	Acqua caduta lungo la notte e nel mattino, osservata poco dopo.
21 »	2,9	0,9	Acqua di pioggia e di grandine, osservata appena caduta.

b) la dispersione fu maggiore per le cariche negative nei giorni registrati nel quadro seguente:

Giorno	Dispers. + in 5m volts.	Dispers. — in 5' volts.	Circostanze notevoli
29 marzo . . .	0,7	0,9	Sull'acqna caduta abbondantemente lungo la notte - le osservazioni furono fatte alle 9' del mattino.
» » . . .	0,1	2,8	Le osservazioni furono fatte su l'acqua caduta tre ore prima.
13 aprile . . .	0,3	1,2	L'acqua era caduta nella mattinata a varie riprese, e fu cimentata alle 12h.
14 aprile . . .	1,3	1,6	L'acqua caduta lungo la notte fu sperimentata alle 10h del mattino.

Queste due tavole mettono in evidenza un fenomeno che trova riscontro con altri ripetutamente constatati, cioè il diverso comportamento della precipitazione a seconda che è cimentata appena caduta, oppure dopo qualche tempo da che è caduta. L'aria che ha gorgogliato in acqua caduta di recente ha presentato, nelle nostre osservazioni, la prevalenza di ioni liberi negativi, mentre prevalgono ioni liberi positivi se l'acqua è caduta da parecchie ore.

La poca uniformità che si nota nei valori ottenuti nelle nostre osservazioni non può recar meraviglia, chè al contrario doveva prevedersi. Si sa infatti che nelle ricerche fatte sulla elettricità presentata dalla precipitazione atmosferica si ottennero tutti i casi possibili: si riscontrarono cioè cariche positive, cariche negative, ed assenza assoluta di cariche.

Parallelo a questo è l'altro fatto che come centri di condensazione del vapor acqueo possono servire tanto i ioni positivi, quanto quelli negativi, quanto ancora i grani di pulviscolo atmosferico i quali potrebbero anche essere elettricamente neutri.

Non riesce quindi strano il fatto osservato da noi che cioè facendo gorgogliare l'aria attraverso la pioggia appena caduta o qualche ora dopo, si abbia una produzione di ioni, i quali sono d'ordinario o in prevalenza positivi o in prevalenza negativi, solo qualche volta in uguali proporzioni positivi e negativi (v. tavola 1a).

Le circostanze poi che, secondo le nostre determinazioni, influiscono maggiormente sulla unipolarità riferita possono riassumersi nella proposizione seguente: « Se si fa gorgogliare aria attraverso acqua di pioggia recente si ha prevalenza di ioni negativi quando si sperimenti su pioggia caduta da brevissimo tempo e specialmente se accompagnata da fenomeni temporaleschi, si ha prevalenza di ioni positivi nel caso contrario ».

Altro fenomeno finalmente di cui va qui tenuto conto è quello scoperto da Lord Kelvin, e poi ripetutamente per vie differenti confermato da altri sperimentatori, per cui l'aria che gorgoglia attraverso l'acqua trascina seco una carica negativa la cui grandezza dipende dalla purezza dell'acqua. Se si aggiungono all'acqua dei sali o degli acidi l'effetto diminuisce fino ad invertirsi il segno della carica in alcuni determinati casi. Tra i sali che esercitano tale influenza quando siano sciolti nell'acqua v'è il cloruro di sodio. Trovandosi il cloruro di sodio assai diffuso nell'atmosfera e variando le proporzioni di tale diffusione con le condizioni meteoriche, specialmente con le direzioni dei venti, si affaccia assai probabile l'ipotesi dell'influenza delle maggiori o minori quantità di cloruro di sodio sciolto nell'acqua piovana sul segno della carica che ha l'aria che vi gorgoglia dentro.

Le Père MARC DECHEVRENS S. J.

LES PHÉNOMÈNES DE TEMPÉRATURE
DANS LES TOURBILLONS
ET EN PARTICULIER DANS LA HAUTE ATMOSPHÈRE.

Quand on s'élève dans l'air, soit en gravissant les montagnes, soit en ballon, on constate que la température diminue quand l'altitude croît. Mais les ballons-sondes qui dépassent 9 ou 10 kilomètres rapportent habituellement de là-haut des températures qui donnent à penser qu'en fait le refroidissement y a cessé et ferait même souvent place à un réchauffement sensible.

Ce fait a paru tout d'abord bien extraordinaire; il allait à l'encontre de l'opinion universellement accréditée d'un refroidissement de l'air continu. On en chercha la cause. Si le phénomène était d'ordre dynamique, la théorie mécanique était là pour l'expliquer. Interrogée elle ne répondit pas. On en conclut que la température des hautes couches de l'air n'était plus sous la dépendance des mouvements tourbillonnaires des couches basses et des couches moyennes; que cette température presque uniforme était vraisemblablement celle des courants atmosphériques qui règnent, dans le calme, par dessus les régions soumises aux influences troublantes des températures de la surface du globe. On alla jusqu'à dire, et cette opinion semble gagner du terrain, qu'il ne devrait même plus y avoir, là-haut, de refroidissement ultérieur, attendu que le refroidissement des couches inférieures est dû principalement aux effets de détente qui caractérisent les mouvements verticaux de l'air en agitation tourbillonnaire.

Les explications du phénomène n'ont donc pas fait défaut; il y en a même peut-être eu trop et certains météorologistes ont pu avoir quelque raison de dire que l'explication attendue n'a pas été donnée, que le phénomène en question est encore un mystère à éclaircir.

Venant après tous les autres, après des savants aussi respectés que M. M. Assmann, Nimführ, Trabert, Teisserenc de Bort, Herge-

sell, de Fonvielle, le R. P. Fényi, j'ai dû peser le pour et le contre de chacune de leurs opinions et j'ai fini par me persuader, en les comparant aux faits les plus généraux et les mieux certifiés, qu'on pouvait serrer la question de plus près et être plus complet en tenant la voie opposée, je veux dire en étudiant ces faits à ce qui semble leur vrai point de vue, au point de vue dynamique.

Reprenons donc cette étude par son commencement obligé; revenons aux observations mêmes que nous avons dans la précieuse collection des rapports détaillés sur les lancers internationaux du premier jeudi de chaque mois. Cette étude nous conduira, non sans nous faire acquérir d'utiles renseignements le long de la route, depuis le niveau de la mer jusqu'à ces régions élevées de l'air qui, depuis 10 années, attirent si fort et si justement l'attention des météorologistes.

I. — La température dans l'air d'après 300 ballons.

300 ballons, partis de différents points de l'Europe, ont été distribués en trois groupes d'après la pression atmosphérique au niveau de la mer, au moment du lancer; 34 ont constitué le groupe des basses pressions (moyenne 749,4^{mm}), 127 celui des pressions moyennes (759,5^{mm}) et 139 celui des hautes pressions (768,5^{mm}).

Si nous avons trouvé quatre fois plus de ballons par hautes que par basses pressions c'est que pendant l'hiver, qui est la saison des tourbillons, un régime anticyclonique règne habituellement sur l'Europe moyenne. Mais une variation de température déterminée par 34 séries suffisamment étendues ne laisse pas d'avoir beaucoup de valeur Aussi n'ai-je pas hésité à la faire entrer, au même titre que les deux autres variations moyennes, dans le calcul de la variation générale, ou normale, de la température dans l'atmosphère sur l'Europe.

Nos 300 ballons sont partis de différents points de l'Europe, d'altitudes variant de 35 à 500 mètres, dans tous les mois de l'année et un peu à toutes les heures de la journée (39 ont été des ballons de nuit). C'est dire que pour que nos résultats restassent généraux il ne fallait pas songer à relever dans les différents rapports les températures mêmes observées, mais seulement leurs différences de kilomètre en kilomètre à partir de l'altitude de 1000 mètres, quitte, après le calcul des variations moyennes, à revenir aux températures par simple

addition des gradients successifs. Il est vrai que par là on supposait que la témperature moyenne à 1000 mètres est zéro ; mais cette supposition est à peu près justifiée pour l'Europe moyenne, et elle l'est également au regard des situations particulières, cyclonique ou anticyclonique, attendu que j'ai démontré par les observations de montagnes qu'on était, là, à l'altitude-limite des mouvements tourbillonnaires inférieurs, niveau où les variations de la température en hauteur sont nulles entre deux variations de signes opposés.

Tableau I.

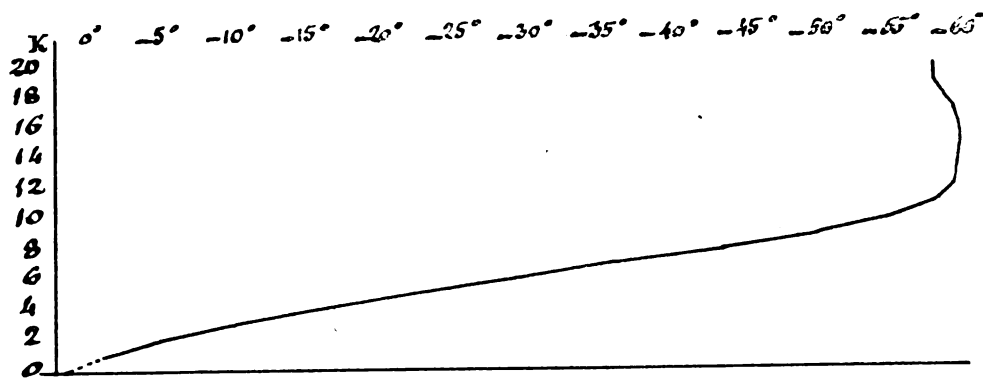
Altitudes kilomètres	PREMIÈRE PARTIE Gradients accumulés ou Températures dans l'atmosphère						SECONDE PARTIE. Différences des températures			
	Anticyclone 768,5 mm 139 ballons	Intermédiaire 759,5 mm. 127 ballons	Cyclone 749,4 mm. 34 ballons	Temp. normal. 759,1 mm. 300 ballons	ballons	Gradients moyens kilometriq.	1) sur les moyennes normales dans l'anticyclone	le cyclone	2) dans les deux colonnes extrêmes A—C	C—A
	°	°	°	°		°	°	°	°	
20	— 60,4	— 55,0	— (57,0)	— 57,5		+ 0,2	— 2,9	+ 0.5	— 3,4	+
19	— 60,9	— 55,7	— (56,5)	— 57,7	8	+ 0,6	— 3,2	+ 1,1	— 4,3	+
18	— 61,6	— 57,0	— 56,2	— 58,3	10	+ 0,6	— 3,3	+ 2,1	— 5,4	+
17	— 62,7	— 58,0	— 55,9	— 58,9	18	+ 0,4	— 3,8	+ 3,0	— 6,8	+
16	— 63,6	— 58,4	— 55,8	— 59,3	27	+ 0,1	— 4,3	+ 3,5	— 7,8	+
15	— 63,9	— 59,1	— 55,1	— 59,4	50	— 0,2	— 4,5	+ 4,3	— 8,8	+
14	— 63,4	— 59,6	— 54,7	— 59,2	84	— 0,1	— 4,2	+ 4,5	— 8,7	+
13	— 63,6	— 59,5	— 54,2	— 59,1	113	— 0,1	— 4,5	+ 4,9	— 9,4	+
12	— 63,2	— 60,0	— 53,7	— 59.0	153	— 1,2	— 4,2	+ 5,3	— 9,5	+
11	— 60,7	— 59,1	— 53,6	— 57,8	194	— 3,0	— 2,9	+ 4,2	— 7,1	+
10	— 55,3	— 55,9	— 53,3	— 54,8	246	— 5.0	— 0,5	+ 1,5	— 2,0	+
9	— 48,1	— 50,5	— 50,9	— 49,8	269	— e,4	+ 1,7	— 1,1	+ 2,8	—
8	— 40,8	— 43,6	— 45,7	— 43,4	293	— 7,4	+ 2,6	— 2,3	+ 4,9	—
7	— 33,3	— 36,1	— 38,7	— 36,0	296	— 7,2	+ 2,7	— 2,7	+ 5,4	—
6	— 26,3	— 29,0	— 31,1	— 28,8	298	— 6,9	+ 2,5	— 2,3	+ 4,8	—
5	— 19,6	— 22,3	— 23,9	— 21,9	299	— 6,1	+ 2.3	— 2,0	+ 4,3	—
4	— 13,6	— 16.4	— 17,4	— 15,8	300	— 5,7	+ 2,2	— 1,6	+ 3,8	—
3	— 8,3	— 10,8	— 11,2	— 10,1	300	— 5,1	+ 1,8	— 1,1	+ 2,9	—
2	— 3,9	— 5,4	— 5,7	— 5,0	300	— 5,0	+ 1,1	— 0,7	+ 1,8	—
1	0,0	0,0	0,0	0,0	300		0,0	0,0	0,0	
Sol	froid	—	chaud	—	—	—	— —	+ —	— —	+

Ce Tableau renferme des résultats dont l'importance n'échappera à personne. Il donne de tous ces phénomènes de température une vue d'ensemble qui paraîtra nouvelle et qui ne laissera pas de suggérer, à propos des hautes régions en particulier, des conclusions bien différentes de celles qui tendraient à prévaloir à l'heure actuelle.

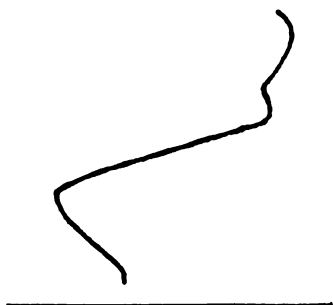
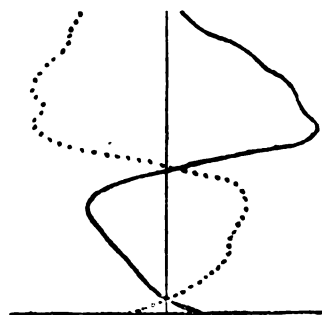
Deux choses frappent à la simple inspection des trois séries de températures correspondant aux hautes, aux moyennes et aux basses pressions (1[me] partie) : c'est d'abord la variation systématique de la 1[ère] et de la 3[e] par rapport à la 2[e], celle-ci restant vraiment intermé-

diaire entre les deux autres]; c'est ensuite ce fait que le réchauffement des couches élevées n'est bien marqué par un relèvement de la température que par hautes pressions ; par basses pressions il ne se laisse pressentir que dans un ralentissement, considérable, il est vrai, de la diminution de la température en hauteur.

La série intermédiaire, étant elle-même particulière, ne semble pas représenter suffisamment bien la variation moyenne, ou normale, de la température. Celle-ci, d'autre part. serait encore moins bien donnée par toutes les séries des 300 ballons réunies en un seul groupe, car ces moyennes températures refléteraient plutôt le caractère de la variation par hautes pressions qui est celle du plus grande nombre de ces 300 ballons. Je crois que cette variation normale sera mieux obtenue en donnant une égale valeur à chacune des trois séries de moyennes particulières, comme si elles avaient été calculées d'après un même nombre de ballons. C'est la série de la 4e colonne du Tableau I, intitulée *Températures normales*. On y voit à côté, d'abord le nombre réel de ballons qui ont permis de calculer chacune des valeurs moyennes, ensuite les gradients moyens, c'est-à-dire les différences successives des températures.

Pl. I.

Gradients accumulés ou Températures normales des couches atmosphériques.

La courbe tracée avec ces valeurs montre bien que le refroidissement avec la hauteur n'est pas continu et qu'il n'est pas régulier non plus. Relativement faible au début il augmente jusqu'à l'altitude de 7 à 8 kilom. pour diminuer rapidement ensuite. Vers 13 ou 14 kilom. il cesse absolument pour faire place même à un léger réchauffement qui semble s'atténuer vers 20 kilom (Pl. II).

Cette variation normale subit des modifications caractéristiques sur le passage des surpressions et des dépressions que nous désignerons par les noms d'anticyclones et de cyclones (2e partie).

Gradients ou variations de la température en hauteur de kilomètre en kilomètre.

Anomalies de température dans les tourbillons.
——— cyclone .... anticyclone.

Négligeant pour le moment la couche la plus inférieure, du sol à 1000 mètres, sur laquelle les ballons n'ont rien pu nous apprendre, nous voyons qu'au-dessus de 1000 mètres, à l'approche d'un anticyclone, l'air, supposé d'abord à sa température normale, se réchauffe entre 1 et 10 kilom. de hauteur et se refroidit en dessus de 10 kilom. ; qu'à l'approche d'un cyclone c'est le contraire, il se refroidit aux niveaux moyens et se réchauffe aux niveaux supérieurs. Ces variations de température sont plus fortes en haut qu'en bas : les maxima y sont presque doubles.

Si maintenant nous ajoutons, pour la couche la plus inférieure, ce que nous savons par les innombrables observations faites sur tous les points de la surface du globe, nous arrivons à fixer les altitudes où les modifications de température sont les plus caractéristiques. Les voici :

Tableau II.

Altitudes (k k)	Anticyclone	Cyclone	
20-22	0	0	altitude-limite du 3e tourbillonnement
12-13	—	+	
9-10	0	0	altitude limite du 2e tourbillonnement
5- 7	+	—	
1	0	0	altitude-limite du 1er tourbillonnement
Sol	—	+	

Le signe — indique un refroidissement maximum et le signe + un réchauffement maximum ; 0 = variation nulle.

Cette distribution alternante des maxima et des minima de température tout le long de la colonne atmosphérique est fort intéressante ; elle fait penser au partage en ventres et en nœuds de vibration des colonnes d'air dans les tuyaux sonores. Aussi bien nous allons voir que chacune de ces phases dans la variation de la température a sa correspondante dans la variation de la pression ; aux maxima et aux minima de l'une répondent des maxima et des minima de l'autre ; nous aurons à rechercher comment se produisent celles-ci pour pouvoir assigner leur vraie cause à celles-là.

Ces particularités de la température dans les tourbillons sont indépendantes du phénomène général de réchauffement des couches atmosphériques si manifeste à partir de 10 kilom. Il est également indiqué dans chacune des trois séries de températures se rapportant aux trois principales situations atmosphériques. L'explication qu'on en donnera devra donc être générale, mais elle ne devra pas, c'est clair, être incompatible avec les faits que je viens de signaler lesquels supposent la présence et l'action des tourbillons jusque dans les plus hautes couches de l'air.

II. — Remarques à propos des explications données des températures de la haute atmosphère.

M. Teisserenc de Bort distingue les couches supérieures à 10 kilom. des autres par le nom de *zone isotherme*. Les météorologistes allemands préfèrent avec raison les appeller la *zone à inversions*.

1. — Les diverses explications qui ont été données de ces curieux phénomènes de chaleur n'ont pas été inspirées, je l'ai dit, par la théorie mécanique pourtant si en vogue parmi les météorologistes. Pourquoi ? parce que, comme l'a avoué l'un d'eux, on se heurte à des contradictions quand on vient à comparer la théorie avec ces faits.

J'aime à croire qu'au fond tous sont convaincus que la thermodynamique aurait son mot à dire dans cette grave question des températures si rapidement changeantes de la haute atmosphère, mais à la condition qu'on pût modifier quelque chose au principe de la théorie mécanique. Quel est-il ce principe ? On veut que toute variation de la température, tant soit peu anormale, soit l'effet direct, im-

médiat de courants verticaux, ascendants s'il s'agit d'un refroidissement, descendants s'il s'agit d'un réchauffement. M. Teisserenc de Bort va jusqu'à dire que le refroidissement cesse dans les couches élevées de l'air parce qu'elles sont hors d'atteinte des courants ascendants qui refroidissent les couches moyennes et les couches basses. Autrement dit, sans ces courants verticaux, l'atmosphère serait par toute sa masse, je suppose, et est vraiment, par là-haut, dans un état d'équilibre thermique, ou à température partout uniforme.

Maxwell, qu'on a cru pouvoir citer pour appuyer cette théorie, me semble la condamner formellement dans son *Traité de la Chaleur* quand il déclare que l'équilibre thermique est impossible dans l'atmosphère; il n'y admet que l'équilibre par convection de la chaleur empruntée au sol, de telle sorte, dit-il, que toute masse d'air amenée d'une hauteur à une autre, sans perdre ou gagner de chaleur, se trouve toujours d'elle-même à la température de l'air ambiant. Maxwell ne reconnaît donc pas aux courants verticaux la puissance de causer, de créer des températures, mais seulement la faculté de s'adapter aux températures des lieux qu'ils traversent. S'ils se refroidissent beaucoup en montant, c'est évidemment que les régions où ils aboutissent sont déjà elles-mêmes très froides pour une raison ou pour une autre indépendamment de ces courants verticaux.

Puisque beaucoup de ces anomalies de température sont certainement d'ordre dynamique et qu'elles ne peuvent s'expliquer par les courants verticaux, il est de toute évidence qu'il faut les mettre au compte des courants horizontaux : c'est la thèse que je défends depuis 22 ans. Je l'exposerai tout à l'heure une fois de plus.

2. — M. Teisserenc de Bort reconnaît que la zone dite isotherme est sujette à présenter des differences de 10, de 20 degrés sur des points relativement voisins dans le plan horizontal. On peut croire que de telles différences de température ne vont pas sans d'assez fortes différences de pression. Mais des différences de pression dans un plan horizontal ne vont pas elles-mêmes sans déplacement des masses aériennes, et nous voici revenus aux mouvements tourbillonnaires qui devaient être exclus de la zone isotherme. Niera-t-on l'existence de différences de pression sur les plans horizontaux au dessus de 9 kilom. ? Les faits s'élèveraient contre cette prétention. En voici quelques uns.

Tableau III.

Comparaisons des variations de la pression en hauteur dans diverses conditions.

Altitude	Trappes		1 mars 1906		3 mai 1906		3 juin 1906		6 sept. 1906		4 octob. 1906		Uccle	
mètres	4 I 06	1 II 06	Pawlowsk	Trappes	Uccle	Pawlowsk	Zurich	Uccle	Moscou	Strasbourg	Moscou	Berlin	12 XII 06	6 II 07
	mm	m	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
0	760	773	744	761	760	768	744	769	754	764	755	762	753	778
5,000	403	410	389	400	403	415	411	420	403	414	396	407	390	410
10,000	198	206	182	196	193	206	204	209	193	208	196	201	185	200
15,000	109	—	83	87 ?	—	—	—	—	91	95	89	92	84	89

Pour ces 7 cas les moyennes différences de pression à chaque niveau auraient donc été :

à 0 m. 12,1mm   à 5000 m. 11,6mm   à 10000 m. 10,7mm   à 15000 m. 4,0mm.

Qu'est-ce à dire, sinon qu'en pleine zone isotherme, disons à 10,000 m. et à 15,000 m., les variations de la pression sont *relativement plus fortes* qu'au niveau de la mer où cependant elle provoquent la formation de violents tourbillons. Pour juger, en effet, de l'importance de ces différentes variations, il faut les rapporter à la pression normale à chaque niveau. Nous voyons ainsi que les quatre différences ci-dessus sont entr'elles comme les quatre nombres : 16, 29, 53 et 45.

Je crois les deux derniers rapports moins sûrs que les deux premiers, mais ils n'en gardent pas moins leur signification. Ainsi à 10,000 et à 15,000 mètres d'élévation la pression varierait près de 3 fois plus qu'au niveau de la mer dans les mêmes conditions ; les actions dynamiques y sont donc inévitables et de grande intensité. Dès lors, encore une fois, si la théorie mécanique avec ses courants verticaux ne peut expliquer les phénomènes de température qui *doivent* accompagner et qui accompagnent de fait les mouvements d'air que supposent de pareilles différences de pression, peut-on logiquement se refuser à chercher cette explication dans les mouvements horizontaux ?

3. — Dans la région équatoriale, sur l'Océan, où, certes, la vapeur d'eau ne manque pas pour retarder le refroidissement de l'air en hauteur, mais où manquent absolument les tourbillons qui sont

censés contribuer à son refroidissement, à l'équateur, dis-je, ce refroidissement est si intense qu'il atteint presque sa valeur théorique ou adiabatique, si bien qu'entre 12 et 15 kilom. des ballons auraient enregistré jusqu'à — 100°. Nous devrons conclure de ce fait étrange, au moins indirectement, que c'est à la présence des tourbillons sur l'Europe qu'il faut attribuer l'arrêt du refroidissement et surtout les réchauffements observés dès 8000 m. d'altitude dans les dépressions.

4. — Dans la région polaire, au contraire, en dépit des immenses surfaces de glace et de neige qui la constituent et dont le rayonnement devrait faire la principale cause du refroidissement des couches inférieures d'après une théorie courante, la diminution de la température en hauteur est extrêmement lente, si bien qu'à 8 et 9 kilom. il n'y fait pas plus froid qu'à la même altitude au centre de l'Europe. Or, la région polaire est par excellence la région des tourbillons qui la sillonnent sans interruption de l'Ouest à l'Est. La conclusion ci dessus, qui ne pouvait être que probable relativement à l'équateur, prend ici toute la force d'une affirmation : les tourbillons, loin d'être pour l'atmosphère une cause de refroidissement, sont pour elle, au contraire, une cause très efficace de réchauffement [1]. Nous reviendrons là-dessus pour l'appuyer de preuves plus directes encore.

5. — Je rappelle aux météorologistes, enfin, que c'est en pleine zone dite isotherme que se constituent ces foyers circonscrits de chaleur qui donnent lieu au phénomène des inversions de la température en hauteur. M. Teisserenc de Bort les a parfaitement mis en évidence par des lancers quotidiens de ballons durant des périodes de 20 à 30 jours consécutifs. Qui oserait douter un instant que ces enclaves de chaleur soient d'ordre dynamique ? mais alors quelle valeur accorder à la théorie mécanique qui se refuse à en montrer la genèse ?

---

[1] J'ajoute ici que la calotte polaire est, à l'opposé de la zone équatoriale, le siège d'un courant descendant de pressions plus élevées qu'au cercle polaire, lui-même en opposition en cela avec le cercle tropical. Or, on verra plus loin que la colonne anticyclonique à courant vertical descendant est normalement susceptible de présenter le phénomène d'une inversion de la température en hauteur. C'est donc une seconde raison pour quoi le refroidissement de l'air avec l'altitude est si faible par toute la région polaire.

III. — La théorie hydrodynamique des tourbillons atmosphériques.

Cette théorie semble en mesure de fournir les explications qu'on demande vainement à la théorie mécanique.

1. — *Les deux tourbillonnements superposés et symétriques.* — Une différence de pression sur deux points d'une même couche, et d'une couche moyennement élevée, est à l'origine des tourbillons atmosphériques que nous voyons voyager à la surface de la terre. J'ai cherché à expliquer dans mon opuscule de 1905 *La Théorie hydrothermodynamique des Tourbillons* comment il se peut faire que de grandes masses d'air se trouvent enlevées d'une région élevée de 6000 à 7000 mètres et transportées sur un autre point de la même couche. L'inégalité de pressions qui s'ensuit sur ces deux lieux se propageant dans les masses supérieures et dans les masses inférieures, il en résulte l'établissement de courants verticaux dans les deux sens pour combler, si possible, le vide d'un côté et décharger l'autre région. Ces courants verticaux provoquent à leur tour l'ébranlement dans le sens horizontal des couches les plus distantes, celles qui avoisinent la surface de la terre et celles qui sont aussi éloignées en dessus de la couche moyenne que ces dernières le sont en dessous : la direction que suivent les masses aériennes dans ces deux couches extrêmes est naturellement contraire au chemin suivi primitivement par l'air transporté des basses vers les hautes pressions.

Comme la cause initiale de tout le trouble peut continuer quelque temps son action et paraît même trouver de quoi l'entretenir sur la route où il se propage grâce au mouvement général de l'air d'Occident en Orient, les courants horizontaux, déviés d'abord par la rotation du globe, ont bientôt fait d'entrer en giration; cette giration est rapide dans l'aire des basses pressions parce que les courants y sont centripètes; elle est lente dans l'aire des hautes pressions où les courants sont centrifuges. Ainsi les deux colonnes tourbillonnaires se trouvent finalement partagées chacune en deux tourbillons superposés ayant pour base commune la couche à 6000 ou 7000 m. d'altitude. C'est donc sous cette forme double qu'il faut se représenter, dans leur profondeur, les cyclones et les anticyclones que les Cartes du Temps montrent à la surface de la terre. Sans cette con-

ception, les phénomènes si intéressants, mais si complexes, que les ballons ont déjà livrés à nos méditations resteront, je le crains, longtemps encore un désespérant mystère.

2. — *Les actions dynamiques, causes des anomalies de la température.* — Nous avons vu que l'effet direct, immédiat des courants verticaux produits dès l'origine du tourbillonnement, aurait été de rétablir l'équilibre des pressions, pour les uns en remplissant le vide partiel fait sur un des deux points de la couche moyenne, pour les autres en déchargeant l'autre point des masses qui y avaient été accumulées. Manifestement ces deux actes, en train de s'accomplir, auraient eu encore un autre effet, celui de réchauffer la première région par apport de matériaux avec compression de l'air qu'il y avait là, et celui de refroidir la seconde région par soustraction de matériaux avec dilatation de l'air qui resterait. Nous voilà donc forcés d'attribuer aux courants verticaux (dans les tourbillons inférieurs) des effets directement opposés à ceux que la théorie mécanique leur reconnaît. Que si ces effets-là ne sont pas, en fin de compte, obtenus malgré la persistance de ces mêmes courants verticaux, c'est que la cause énergique qui a commencé le trouble continue elle-même ses opérations, vidant sans cesse la première région des masses aériennes que le courant vertical y déverse et les reportant constamment aussi sur la seconde région que le courant vertical ne parvient pas à décharger. Si donc le vide se refait toujours d'un côté, le froid y sera en permanence en dépit du courant vertical, et si la surcharge est entretenue de l'autre côté la chaleur y régnera en dépit du courant vertical.

Si maintenant nous envisageons les deux courants verticaux opposés qui doivent nécessairement exister en chacune des deux régions de la couche commune aux deux tourbillons superposés, il ne peut plus être question d'attribuer un effet spécial à l'un ou à l'autre des deux courants ascendants et descendants. L'un et l'autre aboutissent à la région cyclonique froide, l'un et l'autre partent de la région anticyclonique chaude.

Puisque ces deux régions de la même couche ont des températures très differentes, que ne causent ni n'entretiennent les courants verticaux, il reste à en rendre responsables le seuls mouvements aériens horizontaux, le mouvement centrifuge, qui a refroidi la région cyclonique en la vidant, et le mouvement centripète qui a rechauffé la région anticyclonique en la surchargeant.

C'est en 1886 que j'ai, pour la première fois, indiqué cette modification à faire au principe de la théorie mécanique pour la rendre applicable à l'atmosphère. Les ballons ont d'ailleurs pleinement confirmé ce que j'avais tiré des observations de montagnes, et tout ce qu'ils nous ont appris en plus s'explique aussi simplement, aussi complètement par l'action des seules composantes horizontales, centrifuges et centripètes, des mouvements de l'air.

3. — *Les anomalies de la température dans les tourbillons expliquées par les mouvements horizontaux de l'air.* — Ces anomalies ont leurs maxima d'intensité et d'importance dans trois plans: dans la couche en contact plus immédiat avec le sol, dans la couche commune aux deux tourbillons superposés et dans la couche symétrique de la première par rapport à la deuxième.

a. *Les anomalies dans la couche la plus inférieure.* — C'est un fait d'universelle expérience : la température s'élève à l'approche des dépressions (cyclones) et elle s'abaisse à l'approche des surpressions (anticyclones). Mettons ce fait dans tout son jour en l'empruntant à ceux de ces phénomènes tourbillonnaires qui sont les plus régulièrement constitués et dont la marche n'est pas entravée: telles sont les dépressions qui passent d'un grand continent à un océan. Les dépressions asiatiques qui vont au Pacifique en traversant la Chine orientale sont de cette catégorie spéciale. Voici le résumé d'observations personnelles faites durant les mois d'hiver des huit années 1878-1885.

TABLEAU IV.

Zikawei, Chine — 8 hivers.

		La température tout autour des dépressions								
Par vent de :		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Moyennes
Pressions	mm mm 782-775	o 0.9	o 1.3	o 3.9	o —	o —	o —	o — 1,6	o — 1,3	o 0,6
Hautes	74- 70	3,6	5,1	5,2	6.1	5,4	2,4	1,4	1,7	3,9
	69- 65	5,8	7,1	7,2	7,4	8,8	7.2	4,8	4,9	6,6
Basses	64- 60	8,7	9;1	9.0	9,9	11,7	10,6	9,4	7,6	9,5
	59- 54	—	—	11,2	12,4	15.7	13.2	7,4	10,4	11,8

Voici quelques données analogues, mais plus condensées à cause du petit nombre d'observations que j'ai sous la main, concernant une

station d'Amérique, au bord de l'Atlantique (*Rapports annuels du Weather Bureau*).

Tableau V.

Eastport, Maine (lat. 44°.54′ - long. 69°.25′ W. P. - altit. 25 m.)
déc., janv., févr., mars 1903, 1904, 1905 (observ. 8 m. et 8 s.).

Températures centigrades

Par vent de :		Nord	cas	Est	cas	Sud	cas	Ouest	cas	Moyennes	cas
Pression	775 mm	— 10,2°	26	— 4,3°	8	— 1,7°	6	— 10,4°	28	— 8,9°	68
	65	— 8,9	78	— 3,8	35	— 0.8	37	— 7,7	125	— 6,6	275
	55	— 6,9	72	— 2,4	28	0,6	36	— 6,8	131	— 5,4	267
	45	— 6,7	26	— 1,7	11	2,5	15	— 3,6	48	— 3,3	100
	35	— 4,5	4	—		6,2	3	— 0,3	11	— 0,4	18
	759,3	— 8,1	206	— 3,1	82	0,4	97	— 6,8	343	— 5,9	728

C'est bien exactement le même phénomène qu'à Zikawei, à l'extrémité orientale de l'Asie, au bord du Pacifique.

Il ne faut pas s'étonner, ici en Europe, si les tourbillons qui nous viennent de l'Atlantique, où il sont pourtant entrés avec la même aisance que ceux de Chine sur le Pacifique ([1]), ne montrent pas une pareille régularité dans les variations de la température tout autour du centre. En se heurtant à nos côtes occidentales si déchiquetées ils se brisent, s'arrêtent, se subdivisent, reculent ou s'ils avancent un peu s'évanouissent au milieu des terres, En Chine, aux États-Unis, on est habitué aux *vagues de froid* accompagnant les anticyclones et aux *vagues de chaleur* accompagnant les cyclones, mais non en Europe.

Ces Tableaux IV et V prouvent que par tous les vents la température varie en sens inverse de la pression. De ces vents les uns sont marins, les autres continentaux, les premiers sont humides, les seconds secs. Qu'y a-t-il donc en chacun d'eux d'assez constant, d'assez uniformément distribué sur les aires cyclonique et anticyclo-

([1]) La moyenne vitesse de déplacement des dépressions d'hiver est de 53 kilomètres par heure aux États-Unis, de 51 kilomètres en Chine et de 27 kilomètres seulement en Europe.

nique, d'assez efficace enfin, pour donner lieu partout à une égale variation de la température? Je ne vois qu'une chose, la dispersion horizontale de tous côtés de l'air descendu dans l'anticyclone pour y occasionner un refroidissement général, et sa concentration de toutes parts vers l'axe du cyclone pour y produire le réchauffement général de cet aire.

Dès cette première couche des tourbillons la théorie mécanique est déjà à court d'explication; en effet, le froid par hautes pressions ne répond guère à l'échauffement qu'on attendrait du courant descendant et la chaleur par basses pressions au refroidissement que devrait provoquer le courant ascendant. Empêchés de ce côté les météorologistes ont cherché à expliquer ces anomalies de la température comme effets de la nébulosité qui est habituellement moindre par haute que par basse pression et qui favorise plus ou moins, soit le refroidissement par suite de la radiation terrestre, soit le réchauffement par suite de l'insolation. Mais, outre que la nébulosité, si forte qu'elle puisse être, ne saurait jamais être une cause de réchauffement de l'air (et il y a réchauffement souvent très marqué quand les vents de divers côtés convergent vers une région), il y a aussi refroidissement nocturne par ciel couvert et refroidissement diurne malgré l'éclat du soleil quand sur une région les vents qui divergent indiquent une dispersion d'air.

La convergence ou la divergence des mouvements horizontaux de l'air tel est, encore une fois, le seul phénomène constant qui se trouve allié aux anomalies de la température et qui puisse les expliquer parfaitement.

Il est plusieurs de ces anomalies, les unes particulières à certaines régions, les autres plus générales, qu'on a, à mon avis, mal expliquées.

1. Les *inversions* de la température en hauteur s'observent, par hautes pressions, entre le sol et l'altitude de 2000 mètres environ [1]. On les comprendra mieux en les rapprochant d'inversions analogues

[1] Un exemple. Le 19 janvier 1882, par une pression de 784mm au niveau de la mer, le thermomètre a marqué, le matin, — 6°, 3 à Clermont (Auvergne) à 387 m. d'altitude, et + 7°,6 au Puy-de-Dôme, à côté de la ville, à l'altitude de 1467 m. Or, les températures normales d'hiver sont respectivement + 0°,3 et — 2°,5; l'inversion était donc considérable.

qui ont lieu plus haut, entre 8000 et 10000 mètres, mais par basses pressions seulement. Qu'on veuille bien remonter au Tableau II. (page 169), on y verra que ces phénomènes ont lieu à la hauteur des altitudes-limites dans les tourbillons, mais seulement dans la colonne où la température a tendance, en dessus, à se relever (signe +), en dessous à s'abaisser (signe —), circonstances qui amènent assez naturellement une inversion. Or, c'est le cas à l'altitude de 1000 m. dans l'anticyclone (inférieur) et à 9000 m. dans le cyclone (supérieur). L'explication du fait est des plus simples. A l'une et à l'autre altitude, dans les colonnes indiquées, le courant vertical est descendant, mais avec une composante horizontale centripète, réchauffante, en dessus et une composante centrifuge, refroidissante, en dessous. La théorie mécanique, ne tenant compte que du seul courant vertical descendant, ne peut expliquer ces inversions qui lui sont contradictoires, ou bien elle mutile le phénomène en n'en retenant que la portion la plus élevée, le réchauffement.

2. Une dépression importante couvre le Nord de l'Italie et la Vénétie; les courants d'entre SE et SW sur la Méditerranée se portent vivement vers les surfaces libres mais assez resserrées de l'Adriatique et s'y pressent en masses pour pénétrer dans la dépression par son côté sud ou sud-est; il y a échauffement considérable de ces masses. C'est le *Sirocco* de l'Adriatique et du Nord de l'Italie.

3. Quand des nappes d'air descendent d'un plateau droit à la mer avec liberté de s'y épandre, il y a refroidissement notable par le fait de la dispersion des masses: c'est le *Mistral* du Carso et de la Provence, c'est le *Bora* (Borée des anciens) des côtes d'Istrie et de Dalmatie.

4. Quand des nappes d'air, venant de la mer, abordent un plateau à escalader, elles sont forcées de ralentir leur vitesse, de se relever en se resserrant souvent: il y a échauffement au pied du plateau. C'est le Mistral et le Bora renversés.

5. Quand, descendant d'un haut plateau ou d'une chaîne de montagnes, l'air se trouve partiellement arrêté par un bassin fermé, une vallée plus ou moins close, il s'y échauffe par sa compression: c'est le *foehn* des Alpes, des Pyrénées et du Groënland. Mais il ne laissera pas de se refroidir s'il descend jusqu'à la plaine en s'y étalant.

6. Un fort anticyclone peut s'étendre sur une grande partie

de l'Europe et ne présenter de mouvement marqué de sortie que sur quelques points de sa vaste périphérie; sur les régions centrales l'écrasement des couches est l'effet prépondérant: il y a échauffement (*chaleurs par hautes pressions*).

7. De basses pressions peuvent aussi s'étendre à une large surface sans qu'il y ait affluence proportionnée d'air pour remplacer les masses qui ont dû évacuer les niveaux élevés; la dilatation générale des couches basses déchargées est seule effective: il y a refroidissement (*froids par basses pressions*).

b) *Les anomalies de température dans la couche moyenne entre 6000 et 7000 m.* — J'avais, dès 1885, prouvé, par les observations de montagnes (la plus élevée de 4313 m.) qu'au-dessus de 1000 mètres la colonne cyclonique était de plus en plus froide et la colonne anticyclonique de plus en plus chaude, sans pouvoir encore assigner une altitude au maximum d'écart de ces températures différentes. Mais j'estimais déjà, par la constitution double que j'avais été amené à donner aux tourbillons de l'air, que ce maximum ne devait pas être reculé bien au-delà de 5000 mètres. De fait nos 300 ballons l'ont, comme nous l'avons vu, enregistré entre 6000 et 7000 mètres.

C'est, par conséquent, à cette altitude que la théorie hydrodynamique place l'origine et la base commune des tourbillons inférieurs et supérieurs.

Muette sur la cause dynamique des phénomènes de température de la couche voisine du sol, la théorie mécanique ne fournit pas davantage l'explication de ceux de la couche moyenne. Si, en effet, l'air ne doit ses variations de température qu'aux seuls courants verticaux, le courant ascendant, à cause de son humidité, devrait tenir chaude la tête du cyclone (inférieur); du côté de l'anticyclone, comme le courant descendant n'amène en bas que de l'air relativement froid, il devrait débuter à 6000 m. dans une région excessivement froide. C'est le contraire qu'on observe. M. Teisserenc de Bort a bien reconnu lui-même ces contradictions entre la théorie et les faits dans sa note de 1905 à l'Académie des Sciences de St. Pétersbourg quand il disait que « nos observations de ballons ont montré à maintes reprises que la décroissance de température par temps de pluie était plus grande que ne le comporte la détente adiabatique pour l'air humide et que, d'autre part, dans des journées sèches la décroissance de température était moindre que celle qu'on aurait pu s'attendre à trouver par le calcul ».

La théorie hydrodynamique n'a pas ces embarras. Dans la couche moyenne, à 6000 m., les masses d'air sont très froides à la tête du cyclone parce qu'elles y possèdent leur maximum de vitesse horizontale centrifuge, et elles sont très chaudes à la tête de l'anticyclone parce qu'elles y sont arrêtées et à leur maximum de concentration.

c) Les anomalies dans les deux tourbillons supérieurs. — Elles sont de mêmes signes, mais dans l'ordre inverse, que les anomalies dans les deux tourbillons inférieurs. A partir de la couche commune le cyclone, relativement froid, et l'anticyclone, relativement chaud, le seront de moins en moins jusqu'à l'altitude-limite qu'on rencontre à 9000 m., signalée précisément par l'égalité des températures dans les deux colonnes.

Plus haut, les signes des anomalies qui reparaissent sont renversés: le cyclone se réchauffe, l'anticyclone se refroidit et le maximum de ces nouvelles anomalies se fait observer entre 12 et 13 kilom. Je n'ai pas besoin de dire en y insistant que le renversement des signes des anomalies de température doit être la conséquence du renversement des composantes horizontales des mouvements aériens; jusqu'à l'altitude-limite les mouvements sont centrifuges dans le cyclone et centripètes dans l'anticyclone; en dessus de 9000 m. ce doit être le contraire.

Si maintenant nous remarquons que les anomalies de température dans la couche à 12 et 13 kil. répondent exactement pour les signes et même pour les valeurs maxima aux anomalies de la couche voisine du sol, nous serons forcés de conclure que les mouvements horizontaux de l'air sont les mêmes dans ces deux couches et qu'on y est aux deux extrémités les plus écartées des deux tourbillons superposés. Constatons alors ce fait bien intéressant pour la Météorologie générale que chacun de ces tourbillons aurait environ 6000 m. d'épaisseur.

d) Y aurait-il un 3e tourbillon au-dessus des deux premiers? — Loin de trouver au delà de 13 kil. la fameuse zone isotherme, à température et pression uniformes et par suite à courants verticaux nuls, nous y voyons, au milieu du réchauffement général, des anomalies de température aussi caractéristiques des conditions tourbillonnaires que celles des couches moyennes. D'ailleurs nous avons constaté qu'à ces anomalies de la température s'ajoutent des anomalies de la pression qui ne laissent acune doute sur la possibilité, sur l'existence de mouve-

ments tourbillonnaires jusque dans ces hauts parages de l'air. C'est donc un 3e tourbillon par dessus les deux autres, dont l'altitude-limite serait à établir vers 19 ou 20 kil., puisque nous voyons (Tableau I 2de partie) l'anomalie, dans le cyclone principalement, tendre à s'annuler vers ces hauteurs. Plusieurs ballons en montant jusqu'à 25 et 26 kil. ont dû vraisemblablement parvenir au sommet de ce 3e tourbillon [1]. Il faut espérer que de nouveaux perfectionnements dans la construction des ballons et dans les appareils d'observation permettront bientôt de recueillir le complément d'information que j'indique ici.

IV. — Le réchauffement de l'atmosphère.

1. *Le réchauffement des couches supérieures.* — C'est celui qui est le plus manifeste et celui qui seul intrigue les météorologistes à l'heure présente. N'y eût-il qu'arrêt du refroidissement commencé dans les masses inférieures, il est clair que ce serait l'effet résultant d'un véritable réchauffement, puisque le refroidissement continu est la loi d'après le mode de dissémination de la chaleur par convection. C'est ce réchauffement qu'il faut expliquer.

Un tourbillon qui se développerait dans un milieu en repos n'exercerait, à proprement parler, d'actions dynamiques que sur les masses une fois engagées dans la giration et la circulation et l'on n'y observerait que les anomalies propres à chaque système, telles que nous venons de les passer en revue.

Mais si le tourbillonnement est imposé à un milieu possédant un mouvement de déplacement dans une direction fixe et de vitesse considérable, aux actions internes se joindront nécessairement d'énergiques actions sur le milieu lui-même pour vaincre sa résistance à l'entraînement giratoire, et le milieu s'échauffera.

Il semble bien démontré que dans l'atmosphère les masses supérieures se déplacent avec rapidité d'Occident en Orient. Les girations tourbillonnaires n'y pénétreront pas sans un grand trouble qui se manifestera de deux façons, d'abord par des mouvements plus au moins incertains et un affaiblissement notable de la vitesse, ensuite par un

[1] Voir en appendice l'odyssée d'un de ces ballons.

échauffement qui ne saurait être négligeable dans un milieu assez raréfié pour que les actions dynamiques y aient un grand effet.

Telle est la solution générale donnée par la Théorie hydrodynamique au double problème des températures et des mouvements dans la zone à inversions.

Est-il besoin d'insister beaucoup pour justifier cette explication? Réduisons le tourbillonnement aux quatre composantes générales N. E. S. et W. Trois d'entr'elles, les composantes N. E. et S., sont ou directement opposées (E.), ou perpendiculaires à la direction Ouest-Est du courant supérieur. Ces trois composantes s'opposent donc à sa marche régulière: c'est dire qu'il y a modification des directions et des vitesses résultantes; il y a donc destruction de mouvement et transformation d'énergie en chaleur. Pour la composante W., elle est bien de même sens avec le courant et de ce côté il y a accélération et refroidissement; mais la résultante de toutes les actions n'en est pas moins un ralentissement et un réchauffement général.

L'un et l'autre effet ne laisseront pas de présenter des maxima et des minima correspondant à certains rhumbs autour de l'axe où les oppositions des courants sont le plus ou le moins accentuées. Il n'est pas difficile de voir que les plus grands réchauffements devront se produire au Nord-Ouest et à l'Ouest du centre dans le cyclone, au Sud et Sud-Ouest dans l'anticyclone, et les plus forts refroidissements au Sud et Sud-Est du cyclone, au Nord-Ouest et Ouest de l'anticyclone. L'observation a-t-elle justifié ces déductions? Elle les a justifiées pleinement et du coup elle a confirmé la théorie et son principe fondamental d'explication des anomalies de température.

Les deux régions les plus chaudes ont été expressément signalées par M. Teisserenc de Bort en ces termes:

« Avec les basses pressions, *surtout au Nord-Ouest du centre*, on entre dans la zone isotherme à 8 kilom. de hauteur... A cette altitude la température cesse de diminuer pendant qu'elle continue de baisser dans les hautes pressions. Dans les aires de forte pression, *surtout au Sud-Ouest du centre*, la zone isotherme se rencontre à 12 ou 13 kilom. ».

Les deux minima de température vont se faire reconnaître, en même temps que les deux maxima, à leurs effets différents sur la vapeur d'eau atmosphérique. L'eau à l'état de vapeur peut exister à toute température dans l'air, mais elle se condense facilement, aux

basses températures, sous l'influence de tout refroidissement local et donne lieu à la formation de Cirrus; de même, ces Cirrus repasseront à l'état de vapeur sous l'influence de tout réchauffement instantané. Or, les Cirrus ne se font pas observer avec une égale fréquence dans tous les rhumbs autour de l'axe des tourbillons; le fait est connu, mais on ne l'a pas expliqué. Rapproché du fait des températures différentes dans ces mêmes rhumbs, l'un et l'autre s'éclairent, se corroborent et l'explication cherchée se présente d'elle même. J'emprunte les deux séries suivantes à l'étude que M. Vanderlinden a faite de 8 années d'observations des Cirrus en Belgique; elles donnent la fréquence relative de ces nuages élevés dans les deux systèmes tourbillonnaires.

TABLEAU VI.

Fréquence des Cirrus en Belgique [1].

Rhumbs de :	NW	W	SW	S	SE	E	NE	N	Sommes
Dans le cyclone	0	10	88	114	107	61	34	13	427
Dans l'anticyclone . . .	111	91	32	13	20	32	47	74	420

C'est bien dans les rhumbs rendus chauds par le conflit des composantes horizontales tourbillonnaires avec le grand courant d'Ouest à Est que nous trouvons le moins de Cirrus et c'est dans les rhumbs où la concordance des premières avec le second crée le refroidisse-

[1] Dans son Rapport sur les observations internationales des Nuages (1905) M. Hildebrandsson donne les résultats suivants d'une recherche analogue pour la Suède relative à l'anticyclone et qui s'accorde absolument avec les moyennes de M. Vanderlinden.

Rhumbs:	NW	W	SW	S	SE	E	NE	N	Sommes
Cirrus dans anticyclone:	130	92	46	24	5	10	17	67	391

M. Hildebrandsson regarde ces différences de la fréquence des Cirrus comme des différences de la fréquence des courants dans ces mêmes directions. Outre qu'il est difficile d'admettre que les condensations se produisent avec une égale facilité dans tous les courants possibles, on ne voit pas comment on expliquerait que les deux courants opposés de NW et de SE se trouvent être ou les plus fréquents ou les moins fréquents, selon qu'il s'agit des aires de hautes ou de basses pression. Enfin, est-il vraisemblable que tous les courants atmosphériques élevés aient le même degré de fréquence en Belgique et sur la Suède ?

ment que se rencontrent le plus fréquemment ces formations nuageuses [1].

Nous concluerons donc avec une certaine assurance que c'est à la présence des tourbillons dans les hautes couches de l'air qu'il faut attribuer le réchauffement qui se manifeste au moins par une diminution notable, et souvent par la cessation absolue du refroidissement normal en hauteur.

2. *Le réchauffement des masses atmosphériques inférieures.* — Mais alors, dira-t-on, ce ne sont pas seulement les couches élevées, mais encore les couches basses qui devraient participer à ce réchauffement, puisque elles participent au tourbillonnement. Ce n'est pas une objection qu'on propose, c'est un fait qu'on énonce, et je suis d'avis que, toute proportion gardée, si les masses inférieures sont en mouvement à la surface du globe, elles doivent subir l'influence des tourbillons qui les troublent et se réchauffer. Or, les couches inférieures, à nos latitudes moyennes, se déplacent dans la même direction générale que les couches supérieures, mais avec moins de rapidité. Aux États-Unis, sur les côtes de l'Atlantique, la vitesse de l'air est de 14 kil. par heure en dessous de 1000 m. d'altitude, de 35 kil. entre 3000 et 5000 m. et de 87 kil. entre 7000 et 9000 m. En Europe, sur l'Allemagne, les vitesses sont de 16,5 kil. vers 500 m., en hiver, et de 27,5 kil. entre 8000 et 9000 m. Sur les deux continents les dépressions se déplacent beaucoup plus vite que les couches inférieures, puisque, comme je l'ai dit en note page 177, celles des États-Unis font 53 kil. à l'heure et celles d'Europe 28: les dépressions obéissent donc avant tout aux forces d'entraînement supérieures [2].

Par rapport aux tourbillons le mouvement relatif du milieu ambiant dans lequel ils se développent est donc de l'Est à l'Ouest. Ceci nous donne l'explication des localisations toutes différentes des

---

[1] Les condensations nuageuses doivent être plus fréquentes partout, dans les deux colonnes tourbillonnaires, où les courants verticaux, ascendants et descendants, commencent à s'évaser pour opérer la dispersion de l'air: c'est donc surtout aux environs des altitudes-limites, un peu en dessus pour les courants ascendants, un peu en dessous pour les courants descendants. Ces derniers sont aussi efficaces que les premiers à refroidir l'air dès qu'ils s'adjoignent des composantes horizontales centrifuges.

[2] Il n'est pas hors de propos de faire remarquer que ces vitesses moyennes de déplacement des dépressions sont à peu près les vitesses mêmes des couches où nous avons dû établir le sommet des deux systèmes inférieurs et la base des systèmes conjugués supérieurs. C'est une preuve en faveur de l'origine que nous leur avons attribuée.

maxima et minima de température dans les deux portions des colonnes tourbillonnaires parcourues par les ballons. En bas c'est au Sud et Sud-Est du centre du cyclone (par vents de SW) qu'on observe les plus grands réchauffements parce que les composantes horizontales tourbillonnaires y sont directement opposées au courant ambiant d'Est à Ouest, et c'est au Sud et Sud-Est du centre de l'anticyclone (par vents d'E. et NE.) que sévissent les plus grands refroidissements, parce que les composantes sont de même sens avec le courant. La théorie mécanique n'aurait jamais pu expliquer ces différences entre le haut et le bas.

Si donc les actions dynamiques entre le tourbillon et le milieu inférieur sont évidentes par le fait même de la localisation particulière des maxima et minima de température qu'elles sont aptes à produire, il est à croire que la résultante de toutes ces actions sera, ici comme dans les régions élevées, un réchauffement général du milieu lui-même. Comment mettrons-nous en évidence ce réchauffement? Par la simple comparaison du refroidissement observé en hauteur avec le refroidissement calculé ou théorique, depuis le niveau de la mer jusqu'à ces altitudes de 8 à 10 kil. où le réchauffement ultérieur est devenu assez fort pour ne pas passer inaperçu des météorologistes.

On a justement dit que la vapeur d'eau atmosphérique contribuait par ses condensations à diminuer le taux du refroidissement de l'air en hauteur; mais si par là elle est comme un manteau pour notre globe, c'est un manteau qui a ses parties faibles, ses solutions de continuité. En effet, si elle était le seul agent, le principal agent responsable de la différence entre les deux refroidissements observé et calculé, le premier irait en se ralentissant, non en s'accélérant, dans les couches basses et moyennes, régions des fortes condensations, et il irait en s'accélérant, non en se ralentissant dans les couches supérieures où les quantités de vapeur sont faibles et les condensations grandement réduites. Ces contradictions prouvent que tout le phénomène est sous la dépendance d'une cause bien autrement efficace, la présence du tourbillon dans toutes les couches atmosphériques.

Le refroidissement réel, ou normal, nous est connu par nos 300 ballons, et la série des gradients moyens de température se trouve dans le Tableau I (page 167). Pour le refroidissement théorique je l'ai

calculé par la formule connue de Poisson [1]. Voici la suite des différences des deux refroidissements. Ces différences constamment positives représentent en degrés de température les valeurs du réchauffement que j'attribue à l'action dynamique des tourbillons sur le milieu mobile.

TABLEAU VII.

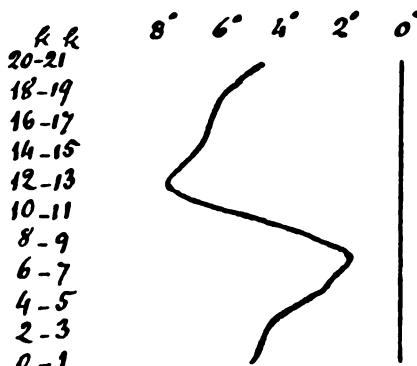
Différences du refroidissement normal et du refroidissement théorique.

Réchauffement de l'air par les tourbillons.

k k	o	k k	o	k k	o
0-1	(5.0)	6- 7	2.2	13-14	7.3
1-2	4.7	7- 8	1.6	14-15	6.9
2-3	4 7	8- 9	2.4	15-16	6.6
3-4	4.0	9-10	3.5	16-17	6.4
4-5	3.2	10-11	5.2	17-18	6.2
5-6	2.4	11-12	6.7	18-19	6.0
		12-13	7.6	19-20	5.3

La courbe tracée avec ces différentes valeurs présente deux maxima, l'un dans la couche la plus inférieure, l'autre dans la couche à 12 et 13 kil. Nous savons que ces deux couches se répondent de point en point, à égale distance de la couche moyenne commune aux deux premiers tourbillons conjugués.

Réchauffement de l'atmosphère.

La courbe présente, en outre, un minimum entre 7 et 8 kil. qui rapprocherait beaucoup le refroidissement normal du refroidissement théorique. Nous savons que cette couche a été témoin des actions qui ont abouti à l'établissement de toute la colonne atmosphérique à l'état tourbillonnaire. Enfin cette courbe du réchauffement général reste dans toute son étendue paral-

[1] $\frac{T'}{T} = \left(\frac{p'}{p}\right)^{0,289}$ T' et T étant des températures absolues.

lèle à la courbe des anomalies de température particulières au cyclone (Pl. III), indice évident que c'est surtout le cyclone, par ses mouvements violents, qui est l'agent actif du phénomène en question. Que dit à cet égard la théorie hydrodynamique?

Sans vouloir revenir ici sur les développements contenus dans ma brochure de 1905 concernant l'origine des tourbillons, je dirai seulement que dans les couches moyennes, aux environs de 7 kil., un immense travail a été accompli par le courant supérieur d'Ouest quand il balaya de sa route les masses d'air comprimées au sommet du cyclone primaire et les rejeta dans la région relativement vide de l'anticyclone voisin également primaire. Ce travail avec toutes ses conséquences, c'est-à-dire l'ébranlement de toutes les masses inférieures et supérieures qui vont tourbillonner, ne s'est pas effectué sans une perte de chaleur qui explique le fort refroidissement du milieu atmosphérique à cette altitude moyenne.

D'autre part, ce même travail, comme je viens de le dire, a considérablement modifié les conditions d'équilibre de toutes les autres couches qui ont été ébranlées et déplacées en dépit de leur inertie, résistance, qui, croissant avec l'éloignement, est maximum au voisinage du sol et dans la couche symétrique à 13 kil. d'altitude. La chaleur disparue dans la couche moyenne doit donc reparaître dans ces deux couches extrêmes, et ainsi s'expliquent les deux maxima de rechauffement portés dans la série ci-dessus aux deux niveaux 0^k-1^k et 12^k-13^k.

Ces actions dynamiques d'un caractère plus général n'ont pas une égale intensité par toute l'aire troublée qui embrasse les deux colonnes tourbillonnaires. Elles ont leur maximum d'efficacité dans les basses pressions parce qu'elles s'y sont exercées directement, par réaction seulement dans les hautes pressions. Aussi voyons-nous dans les basses pressions la couche moyenne se refroidir à l'excès, tandis qu'elle se réchauffe dans les hautes pressions. Mais aussi c'est dans les basses pressions que les mouvements tourbillonnaires résultants sont les plus énergiques au sol et à 13 kilom., et que le réchauffement y est en conséquence très marqué, pendant que par compensation le froid a envahi les hautes pressions dans ces deux mêmes couches.

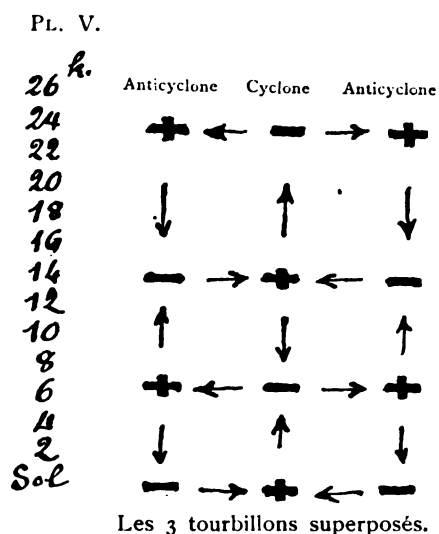
Conclusion.

Telle serait, dans mon opinion, la genèse des phénomènes thermiques si complexes, mais si intéressants, qui caractérisent les mouvements tourbillonnaires de notre atmosphère. Ces phénomènes, j'ose le demander, étaient-ils vraiment connus et compris dans leur ensemble, comme ils doivent maintenant apparaître à l'esprit de ceux qui auront bien voulu les passer en revue avec moi jusqu'au bout? On s'étonnera peut-être que je les aie tous fait d'ordre dynamique sans paraître tenir compte des températures, si différentes pourtant, qu'on observe à la surface du globe entre les continents et les océans. Je ne puis que renvoyer à ma première exposition de la Théorie hydrodynamique de 1905 où j'ai montré ces différences mêmes donnant lieu aux tourbillons primaires, cyclonique et anticyclonique, double formation fixe et calme antérieurement nécessaire pour que les tourbillons secondaires, mobiles et pleins d'animation, puissent se constituer à leurs dépens. La destruction des premiers systèmes a été une affaire de force et de violence; aussi les températures qui caractérisent les seconds sont si bien le résultat de ces actions dynamiques qu'elles se maintiennent dans leur individualité et leur integrité quelles que soient les conditions spéciales de température des régions qu'ils sont appelés à traverser dans leur course vers l'Orient autour du pôle. C'est donc bien, en définitive, uniquement au Soleil que nous rapportons l'origine et la source de tous les mouvements tourbillonnaires et de tous les phénomènes thermiques qui en sont la conséquence.

Récapitulons brièvement les principaux résultats de cette étude des tourbillons d'après les observations recueillies par ballons-sondes principalement.

Les températures dans les tourbillons. — Dans les deux aires de basse et de haute pression la température, indépendamment du refroidissement normal en hauteur, subit des variations alternativement positives et négatives à des intervalles moyens de 7 kilom. D'une colonne à l'autre, aux mêmes niveaux, les anomalies sont de signes contraires.

Or, dans la couche voisine du sol et dans la couche élevée de 6000 à 7000 mètres, dans lesquelles les mouvements de l'air sont parfaitement déterminés par l'observation directe du vent et des nuages,

les anomalies de la température sont manifestement en relation étroite avec les seules composantes horizontales de ces mouvements, nullement avec les composantes verticales: aux composantes horizontales centripètes correspondent les réchauffements, aux composantes centrifuges les refroidissements. Il y a donc tout lieu de penser qu'aux niveaux plus élevés les signes des anomalies variables de température que les ballons y ont révélées indiquent aussi le sens des composantes horizontales des mouvements des couches auxquels ces anomalies sont associées. C'est ainsi que j'ai pu établir le schéma suivant des deux colonnes tourbillonnaires au double point de vue des courants et des températures.

Pl. V.

k.
26 24 22 20 18 16 14 12 10 8 6 4 2 Sol

Anticyclone Cyclone Anticyclone

Les 3 tourbillons superposés.

Relativement aux courants nous n'en sommes plus heureusement réduits à de simples déductions; les visées, faites au théodolite sur plusieurs ballons durant toute leur course (*voir l'Appendice*) les ont montrés emportés précisément par ces composantes horizontales qu'indique la théorie (¹).

Nous arrivons ainsi à cette constatation bien nouvelle (²) assurément que les deux colonnes, cyclonique et anticyclonique (Pl. V), sont, dans une étendue de 25 à 26 kilom. déjà parcourue par plusieurs ballons sondes, partagées en trois tourbillons

(¹) L'étude des courants divers qui peuvent et doivent exister aux différents étages des colonnes tourbillonnaires est bien nécessaire pour asseoir solidement la théorie des tourbillons; mais elle est rendue particulièrement difficile par la rareté des séries un peu étendues d'observations au théodolite, surtout dans les situations cycloniques toujours nuageuses et par ce fait que les courants élémentaires giratoires ont à se composer avec les mouvements propres du milieu dans des conditions que nous ne pouvons pas même imaginer.

(²) La constatation du fait de ces trois tourbillons superposés est assurément nouvelle puisqu'elle est faite ici même pour la première fois; mais une fois de plus aussi la théorie avait devancé l'observation. Il y a 4 ans, en 1901, à propos de la zone isotherme je disais ce qui suit à la Soc. météor. de France: « maintenant je n'oserais pas aller jusqu'à prévoir avec assurance par-dessus le tourbillon supérieur (le 2ᵉ), c'est-à-dire au delà de 14 à 15 kilom., un autre système complexe, reproduction à une moindre échelle sans doute du système double qne nous voyons en activité au-dessous de ces hautes régions.

distincts superposés alternativement ascendants et descendants dans leurs courants verticaux, et tout porte à croire que ce ne sont pas les seuls que les ballons sont appelés à visiter et à sonder dans toute leur profondeur.

Le réchauffement général des masses tourbillonnaires. -- L'atmosphère n'est jamais dans cet état impossible où nul tourbillonnement n'agiterait ses masses gazeuses: les cyclones et les anticyclones, du moins dans les zones tempérées et glaciales, se partagent littéralement la surface de la terre. Leur action troublante, le brassage continu de toutes les couches, les chocs, les frottements de toutes sortes sont pour l'air une cause permanente d'un réchauffement d'autant plus sensible que les masses sont plus légères et pourtant plus mobiles, ce qui explique pourquoi au dessus de 10 kilom., là où le refroidissement théorique serait déjà bien ralenti, le refroidissement observé peut être effectivement arrêté. A l'équateur, la zone la plus chaude du globe, mais où n'existent pas de tourbillons, le refroidissement en hauteur a presque sa valeur théorique; dans la région polaire, au contraire, la plus froide mais aussi la plus fréquemment bouleversée par les tourbillons, le refroidissement en hauteur est énergiquement combattu par les actions dynamiques.

Après tous ces développements, après ces explications des phénomènes qui ont tant intrigué les météorologistes dans ces dernières années, n'ai-je pas quelque raison de présenter la *Théorie hydrodynamique* comme la théorie des tourbillons atmosphériques? N'allons pas jusque-là, si l'on veut, et disons que c'est au moins une hypothèse commode qui rattache heureusement tous les phénomènes de courants et de températures, caractéristiques des tourbillons atmosphériques, à un même principe, lequel s'est déjà montré assez fécond pour avoir même, en plusieurs points, devancé l'observation.

Toutefois l'atmosphère par le fait de son élasticité extrême est sujette à des oscillations répétées allant en s'atténuant en proportion de l'éloignement de la cause première qui a agité une portion de sa masse; de sorte que la nature même des mouvements horizontaux et verticaux importés tout d'abord par la cause génératrice aux masses les plus profondes de l'enveloppe gazeuse de la terre, fait que ces mêmes mouvements doivent tendre à se propager, à se reproduire alternativement dans un sens et dans l'autre quoique en s'affaiblissant de plus en plus jusqu'aux dernières limites de l'atmosphère ».

Je ne prévoyais donc pas seulement le 3[e] tourbillon, découvert aujourd'hui, mais un 4[e] et d'autres à la suite.

APPENDICE

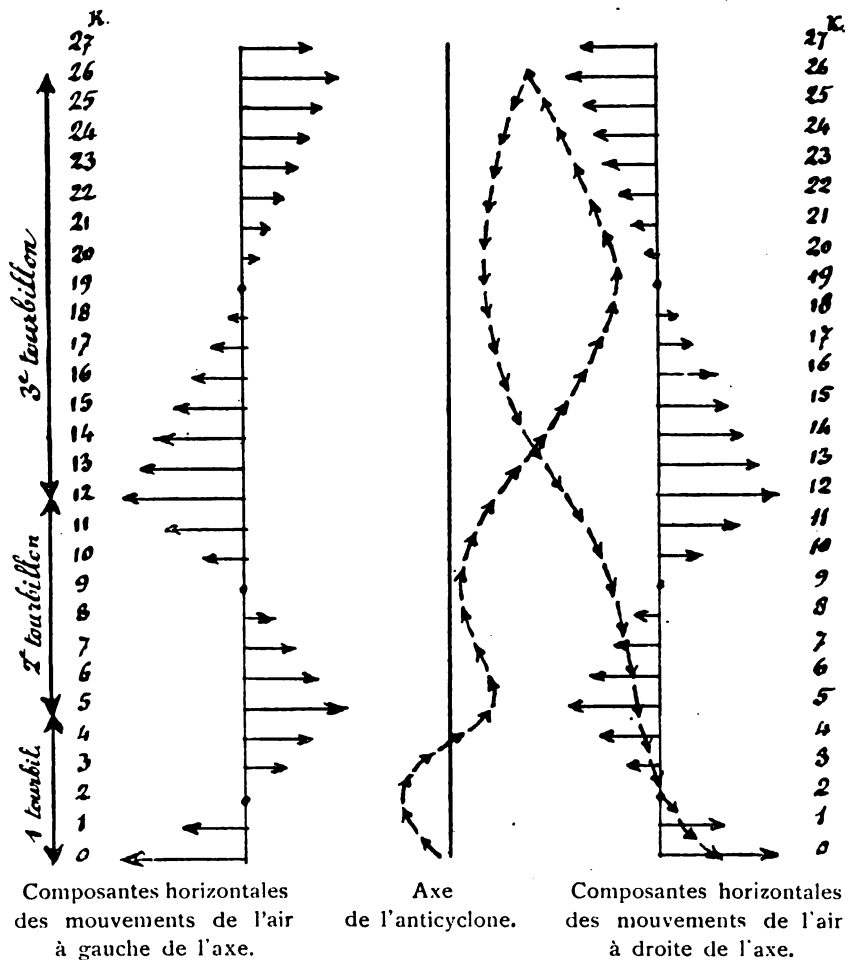
Le ballon belge du 25 Juillet 1907 engagé dans les trois tourbillons superposés.

Ce ballon, lancé à Uccle à $6^h.52$ m. du matin, s'arrêtait 14 minutes après à l'altitude de 26557 mètres, la plus haute atteinte jusqu'à

Pl. VI.
Trajectoire en hauteur du ballon belge du 25 juillet 1907.

Composantes horizontales des mouvements de l'air à gauche de l'axe.

Axe de l'anticyclone.

Composantes horizontales des mouvements de l'air à droite de l'axe.

ce jour. Par un bonheur inespéré ce mémorable ballon a pu être suivi au théodolite depuis 4135 m. à la montée jusqu'à 5613 m. à la des-

cente. Comme d'ailleurs on l'avait suivi des yeux à son départ jusqu'au moment où les pointés purent être commencés et comme on a pu par son lieu d'atterrissement fixer exactement sa direction dans les dernières minutes de la descente, sa trajectoire entière a pu être tracée en projection horizontale: on la trouvera dans *Ciel et Terre* de Janvier 1908. La Pl. ci-jointe la représente par des flèches dirigées de bas en haut pour la montée et de haut en bas pour la descente, mais composée avec les déplacements verticaux et projetée sur un plan vertical. Les inflexions de ces deux trajectoires représentent les déviations latérales du ballon par rapport à l'axe de l'anticyclone sous l'impulsion des composantes horizontales centrifuges et centripètes projetées elles-mêmes sur le même plan vertical.

C'est par une situation anticyclonique qu'a eu lieu l'ascension. Une arête de hautes pressions relatives partait de Vienne en Autriche dans la direction de la Mer du Nord, mais s'infléchissait, sur la Belgique, vers le Pas de Calais et l'Angleterre. Cette arête séparait deux dépressions qui occupaient, l'une le centre et le midi de la France, l'autre la Prusse occidentale et la Pologne. Uccle se trouvait au coude fait par la ligne des pressions les plus élevées, et par suite le ballon se tint quelque temps à gauche de cette ligne pour passer à droite vers 4 ou 5 kilom. de hauteur.

J'ai indiqué en marge, à gauche, les limites des trois tourbillons qui, ce jour-là, semblent avoir été de profondeurs différentes, le plus court en bas, le plus long en haut, Les altitudes-limites, c'est-à-dire les niveaux où le mouvement de l'air était purement vertical, soit descendant (1^{er} et 3^{e} tourb.), soit ascendant (2^{e} tourb.), sont marquées par des points le long de la ligne des composantes horizontales.

Bien que le rapport détaillé de l'ascension ne donne pas cette indication particulière, le grand ballon, il y en avait deux en tandem, a dû éclater à 26 557 m. alors qu'il avait une assez grande vitesse d'ascension, 9,4 m. p. s. Cette vitesse verticale aurait pu être plus grande encore, sous l'action échauffante du soleil, si le courant vertical tourbillonnaire n'avait pas été alors descendant (le 3^{e} tourbillon est l'analogue du 1^{er}). J'en trouve la preuve dans l'énorme vitesse de chute, 25 m. p. s., que prirent presque aussitot le petit ballon et les débris du grand, vitesse qui se ralentit forcément au-dessous de l'altitude-limite (à 19 kilom.) quand la composante verticale commença à céder le pas à la composante horizontale centrifuge. A 12 kilom. le courant

tourbillonnaire est entièrement horizontal; aussi la vitesse de chute tombe-t-elle à la faible valeur de 3,9 m p. s. qui s'abaisse encore à 3,6 m. dans le courant ascendant du 2^{e} tourbillon pour se relever jusqu'à 5,7 m. dans le courant descendant du 1er tourbillon. Inutile, je pense, de faire observer que les vitesses de chute dans le 3^{e} et dans le 1er tourbillons ont été très différentes à cause de la différence de densité des deux milieux qui n'opposaient pas la même résistance à la chute.

Dans cette ascension du 25 Juillet 1907 le minimum de température (— 56°,5) a été enregistré à l'altitude de 12 112 m., et sur les 13 400 mètres suivants le thermomètre a monté de 14°. Qu'on veuille bien remarquer sur la Pl. de la trajectoire que dans tout cet intervalle les composantes horizontales ont passé graduellement du maximum de vitesse centrifuge, cause de refroidissement, au maximum de vitesse centripète, cause de réchauffement. Or, nous avons vu que dans ces hautes régions de l'air les variations de pression, les mouvements qui s'en suivent, les températures qui en résultent, tout était exagéré comparativement à ce qui se passe dans notre tourbillon inférieur. Dans ce tourbillon inférieur, on le sait, les inversions de temperature en hauteur sont de règle, par hautes pressions, aux environs de l'altitude-limite: il y fait, absolument parlant, plus chaud en-dessus qu'en-dessous; le 3^{e} tourbillon étant la répétition du 1er le même phénomène doit se reproduire avec plus d'intensité encore et il ne faut pas s'étonner que la moitié supérieure de ce tourbillon ait été notablement plus chaude que la moitié inférieure [1].

Jersey — Observatoire S^{t} Louis, 1 Mai 1908.

---

[1] D'après la formule de Poisson relative au refroidissement adiabatique, la même variation de pression qui, au niveau de la mer, produirait dynamiquement une variation de 1° centigr., en produirait une de 10° à l'altitude de 19 kilom. où la pression normale est de 50 millim. environ.

P. BELLINO CARRARA S. I.

L'OPERA SCIENTIFICA
DI
GÈRBERTO o PAPA SILVESTRO II
NOVELLAMENTE DISCUSSA ED ILLUSTRATA

È sempre utile alla stessa scienza rievocare la memoria di quegli uomini illustri, che di essa si resero assai benemeriti, o per invenzioni e nuove scoperte, o per incomparabile zelo nel divulgarle. Certamente la scienza va sempre sopra gli altri debitrice a quelli, che primi ne rivelarono i reconditi suoi tesori, e col loro genio inventivo concorsero ad aumentare lo stesso suo prezioso patrimonio. Ma riconosce pure la scienza stessa i vantaggi che le provengono da chi profondamente imbevuto delle sue dottrine, le promuove, le propaga, ingenerandone in altri le cognizioni. Sopra tutti poi si acquistano le benemerenze della società quelli che con felice concorso, sotto ambo i rispetti, si vengono a segnalare.

Una tale storica rievocazione serve poi sempre ad un potentissimo risveglio, che stimola altri a seguire con nobile ardore il glorioso esempio dei commemorati, massime se la suscitata memoria coloro ricordi, che esercitarono la scientifica loro attività in un tempo, nel quale la medesima scienza, senza il loro impulso ristoratore, sarebbe stata negletta, anzi quasi al tutto miseramente perduta nelle tenebre. Allora noi veniamo a suscitare la ricordanza non tanto di scienziati, quanto di *salvatori* della scienza.

Passarono appunto certi secoli, nei quali parve che la scintilla del fuoco sacro della scienza, stesse per ispegnersi. Ognuno poi sa che tra questi secoli, così detti di tenebre, d'ignoranza o di barbarie, si vuole comunemente annoverare come precipuo il *secolo decimo*. Se noi dunque in tale secolo troviamo alcuno il quale, in quel vero o preteso buio dell'età di mezzo, sorgesse quale aurora boreale a rischiarare e rallegrare quelle lunghe notti polari; noi diciamo che quegli sopra

altri merita non solo che non si passi inosservato nella storia, ma che la sua memoria venga con degno elogio celebrata.

Ora questa scientifica lucerna, che, nel pressochè abborrito secolo decimo, risplendesse d'ogni fatta di cognizioni scientifiche, e colla ardente sua attività influisse a suscitare in altri il fuoco sacro della scienza, viene da tutti riconosciuto il celebre monaco *Gerberto*, poscia Papa *Silvestro II.* Gerberto sarebbe stato, come or si direbbe, una illustrazione della scienza, per qualunque secolo. Egli fu dialettico invincibile, filosofo profondo, teologo insigne, letterato eruditissimo, musico abilissimo, astronomo valente, matematico illustre, fisico peritissimo, meccanico ingegnosissimo; uno scienziato insomma per quei tempi così straordinario, da acquistarsi la rinomanza d'un monaco prodigiosamente dotto. Lo stesso Voltaire, dovendo rendergli giustizia, denominollo « *un prodige d'érudition* »; ed « *un secondo Boezio* » è chiamato nel *Cronik de Verdun.*

In questa monografia sopra Gerberto, noi lo seguiremo più particolarmente nella sua attività scientifica. Questa è però sì connessa agli avvenimenti della sua vita, che non verrebbe secondo il merito apprezzata, senza premettervi le più interessanti biografiche sue notizie. In tal modo appunto, sulla scorta delle più autentiche fonti storiche, antiche e recenti ([1]), e dietro esame delle sue scientifiche produzioni,

([1]) MORITZ CANTOR. *Vorlesungen über Geschichte der Mathematik.* Erster Band, zweite Auflage. Leipzig, 1894. 39 Kapitel, *Gerbert*, p. 797-824.

HOCK. *Gerbert oder Papst Sylvester der zweite.*, Wien, 1837. Di quest'opera fu fatta una traduzione dal dott. GAETANO MELZ, Milano, 1846. Non potendo avere alla mano l'originale tedesco, mi dovetti servire di questa versione.

OLLERIS. *Œuvres de Gerbert* e *Vie de Gerbert* (p. XXIV-XXXIII). Clermond-Fr. et Paris, 1867.

BÜDINGER. *Ueber Gerberts wissenschaftliche und politische Stellung.* Marburg, 1851.

KARL WERNER. *Gerbert von Aurillac, die Kirche und Wissenschaft seiner Zeit.* Wien, 1878.

FERDINAND HOEFER. *Histoire des Mathématiques*, quatrième édition. Paris, 1895. - Chap. V, *Le moyen-âge*, p. 310-315.

BOURNOV. *La collection des lettres de Gerbert comme source historique.* S. Pétersbourg, 1899.

HERGENRÖTHER (Card. GIUSEPPE). *Storia Universale della Chiesa*, quarta edizione. Prima traduzione italiana del P. ENRICO ROSA S. I. Firenze, 1905. vol. III, cap. III, § 7.

RICHERUS. *Historia*, III (*Monumenta German. Script.*, III, VI).

Dott. HANS PRUTZ. *Storia degli Stati medioevali nell' Occidente.* Milano, Società editrice libraria. Vol. I, cap. IV. Questo volume è il *sesto* della *sezione seconda* della *Storia Universale illustrata* di GUGLIELMO ONCKEN.

ROHRBACHER (Abb.). *Storia Universale...*, vol. VII. Torino. 1864.

Silvester II Caesius Aquitanus Pont. Max. — Fr. ABRAHAMIS BZOVII Sac. Theol. Mag. Ordinis Praedicatorum. Editio secunda. Romae, Sumptibus Benedicti Carrarae, MDCLXXVIII.

potrò io esporre in nuova luce la meravigliosa opera scientifica di Gerberto o Papa Silvestro II, e insieme discuterne con imparzialità di giudizio i veri meriti.

Ecco il tema di questo mio umile contributo al volume che la Pontificia nostra Accademia dei Nuovi Lincei intende presentare quale omaggio all'Augusto suo Mecenate, **Papa Pio X** nella fausta e gloriosa ricorrenza del suo Giubileo Sacerdotale. Ragione speciale poi della scelta del mio argomento è che: — Gerberto monaco e Gerberto scienziato — Gerberto arcivescovo e Gerberto matematico — Gerberto Papa e Gerberto promotore della scienza, viene a dimostrare una volta di più l'armonico indissolubile connubio tra la verace scienza e la santa nostra cattolica fede.

*
* *

Molto interessante fu sempre considerata la vita di quest'uomo straordinario quale fu Gerberto, sebbene proveniente da oscura famiglia, però molto cristiana e molto pia [1]. Ma Iddio non restringe i doni suoi, sia di natura come di grazia, alla nobiltà del sangue. Il Datore d'ogni bene li elargisce gratuitamente a chi e come meglio gli piace,

---

[1] Con ciò mi attengo alla più comune degli storici di Gerberto, ben sapendo che il Bzovio nel suo lavoro originale sopra Silvestro II, da me nel precedente elenco citato per ultimo, gli attribuisca un'origine molto illustre. Egli fa discendere Gerberto dai duchi d'Aquitania venuti in Italia e precisamente nell'Umbria, dai quali poi la *Gens Gaesia* di Roma. Però nel titolo stesso dell'opera leggiamo: « *Silvester II Caesius Aquitanus* ». Secondo questo medesimo autore, il principe Federico Cesi, fondatore della nostra Accademia dei Lincei, che chiama « *nostri huius aevi litteratorum Phoenix* », e loda per il suo acume « *ad indagandas rerum naturalium causas* » trarrebbe la sua origine da un altro « *Fridericus Caesius Aquitanus, Probi nepos* », e ciò che più si vuol notare « *et Gerberti frater* » (op. cit., p. 13).

Ma, a giudizio dell'Hock. il Bzovio « scrisse con rette intenzioni, ma senza distinguere sufficientemente il giusto dall'ingiusto (cioè il vero dal falso, il certo dall'incerto) e le idee di quel tempo ed i principii delle età posteriori e senza essersi applicato convenevolmente allo studio delle fonti tedesche e francesi » (op. cit., p. 227).

Per qualunque onore poi si credesse da alcuno venirne alla nostra Accademia, che il suo fondatore discendesse da un supposto duca aquitano fratello di Silvestro II, non possiamo tuttavia nelle nostre affermazioni fare appoggio sopra equivoci. L'equivoco, a nostro parere, starebbe in ciò, che il primo cognome della illustre famiglia Cesia romana, originaria della terra *Cesi* nell'Umbria, era *Equitoni* o *Chitani*. La somiglianza con *Aquitani* diede forse occasione a far credere ch'essa fosse venuta in Italia coll'Imperatore Ottone dall'Aquitania.

senza escludere veruna classe sociale. S. Tommaso l'Angelico era della nobilissima famiglia dei Conti d'Aquino, ed il nostro Gerberto nacque da poveri genitori contadini circa l'anno 930 a Belliac, piccolo ed oscuro villaggio, che ci si permetterà di chiamare il *Riese* dell'Alvernia. Ambedue piccoli paesi sì, ma non mai minimi nelle due regioni, dell'Alvernia e del Veneto, per avere dato i natali a due sì grandi Pontefici, a Silvestro II ed al gloriosamente regnante Pio X.

Rimasto Gerberto fin da giovinetto orfano d'ambo i genitori, venne accolto dai religiosi cluniacesi d'Aurillac nella stessa Alvernia, nel loro monastero, fondato dal mite S. Geraldo, per esservi educato nella pietà e nelle lettere. Fin dalla puerizia mostrossi da Dio favorito di meraviglioso ingegno, con una straordinaria disposizione all'acquisto d'ogni scienza. Il medesimo abbate S. Geraldo, lo scolastico Raimondo, i monaci più progrediti nelle cognizioni e nelle virtù, quali un Airardo ed altri, gli furono larghi d'istruzione; ma specialmente gl'insegnamenti del celebre Raimondo servirono a destare e fecondare i germi di quel prodigioso ingegno. Ma parve che per un maggiore sviluppo allo stesso eletto suo ingegno fosse come destinata una contrada straniera, la Spagna. Era il giovanetto Gerberto tutto inteso ancora allo studio della grammatica, quando Borrel conte di Barcellona, duca della Spagna citeriore, venne in pellegrinaggio al Convento d'Aurillac. In udire l'abbate dal duca, che nella Spagna si trovavano uomini progrediti ed esperti nelle scienze, alle quali tutto nato fatto sembrava il giovane Gerberto, pregollo a condurselo seco colà, sicuro che avrebbe appreso quelle scienze in un modo sopra il comune. Sembrò al duca Borrel buona la proposta, lo prese appunto seco, ed affidollo al rinomato e dottissimo *Attone* vescovo di Vich in Catalogna. Presso di questo illustre scienziato, il giovane Gerberto profittò in modo sì mirabile in ogni fatta di studi, che in breve si rese padrone non solo di ogni sorta di letteratura, ma delle matematiche, della astronomia, della meccanica, della medicina, della musica e di quanto altro insegnavasi colà, rendendosi sopratutto eccellente nella matematica. Di ciò ne fa espressa fede quel monaco Richerio, poi suo discepolo, il quale nel terzo libro della sua storia, di recente scoperta e pubblicata, attesta che, Borrel « *Hattoni episcopo,* (Gerbertum) *instruendum commisit, apud quem etiam in mathesi plurimum et efficienter studuit* » [1]. È questo

---

[1] RICHERUS, op. cit., 43 (*Monum. German. Script.*, III, 617).

un punto particolare, ove lo storico Richerio si merita non solo tutta la nostra fede, come avverte il Cantor, ma meritevole eziandio di essere ben notato, perchè fa cadere la notizia data da un certo cronista Ademaro, e ripetuta da parecchi altri scrittori posteriori, che Gerberto fosse stato alla scuola degli Arabi ed avesse anzi da loro tolto il suo abbaco ([1]).

Ma quando un tal cronista ci scambia nientemeno Gerberto, che fu poi Papa col nome di Silvestro II, con Papa Giovanni XV, egli ha perduto il diritto che gli si abbia a credere, anche circa il preteso furto di Gerberto, del suo abbaco, e si affermi anzi essere la sua asserzione una favola. È certo invece che in Ispagna, anche fuori dei paesi ove erano penetrati i Mori, esistevano scuole cristiane nelle quali venivano insegnate le medesime scienze che presso gli Arabi, e precisamente nella stessa Catalogna, ove si trovava Gerberto, come quella parte che meno era stata esposta alle scorrerie dei Normanni. Là Gerberto tutto mise a profitto per istruirsi sempre più; strinse intima relazione scientifica coi più dotti del paese, in particolare con Guerino abbate di S. Michele di Cusan, uomo non meno celebre per la sua scienza che per la sua pietà.

* * *

Circa l'anno 970, il duca Borrel ed il Vescovo Attone imprendono il pellegrinaggio alla città eterna, seco conducendo il giovane Gerberto. In compagnia del medesimo si presentano pure a Papa Giovanni XIII (965-972). L'aspetto del giovine impressionò favorevolmente il Sommo Pontefice, il quale intuì tosto le preclari doti della mente e del cuore di quel modesto garzone; e con grande soddisfazione intese da quegli illustri personaggi, quanto fosse Gerberto già versato nelle matematiche ed esperto nella musica. Il Papa medesimo volle presentare il dotto e bravo giovane all'Imperatore tedesco Ottone I. Questi lo interrogò che cosa sapesse e quali fossero le sue speciali cognizioni, ed egli modestamente rispose, essere lui bastantemente istruito nelle matematiche, ma che aspirava a più alte cognizioni filosofiche, nè avere per anco appreso la dialettica. Stava allora alla corte del Re Ottone, Ge-

([1]) « *Abacum*, dice quel cronista, *certe a Saracenis rapiens regulas dedit, quae a sudantibus vix intelliguntur* ». Cfr. CANTOR, op. cit. p. 799.

rardo Arcidiacono di Reims in qualità di ambasciatore del Re Lotario di Francia. Era Gerardo a quei tempi in grido del più grande filosofo, celebrato per la perizia sua nella logica. A questi, qual discepolo, affidò Ottone, Gerberto, il quale tosto a lui si strinse con stabile nodo di comunicazione scientifica, seguendolo nel suo ritorno a Reims. Appena giunto colà fu subito universalmente ammirato il sovrano ingegno di Gerberto, il quale ben presto riuscì a superare Gerardo stesso nella sua propria dottrina, nella dialettica cioè e nella filosofia. Colla eccellenza e nobiltà dei suoi studi, entrò egli nelle grazie del mite e sapiente Arcivescovo Adalberone, che gli commise quella medesima scuola, ove insegnato aveva un Frodoardo celebrato maestro. In un subito divenne la scuola di Reims una delle primarie e più celebri in quelle contrade. Una turba di eccellenti discepoli, aveva egli da ammaestrare nelle matematiche, quelli non esclusi che erano stati prima suoi maestri nella logica.

* * *

Un episodio abbastanza curioso fa passare Gerberto da primo maestro della scuola di Reims ad abbate del monastero di Bobbio; di quel Bobbio, ove morì il celebre sostenitore della fede S. Colombano; ove tesori d'ogni fatta manoscritti appagano lo spirito assetato di scienza. Noverasi fra' più preziosi il famoso Codice Aceriano: « *Codex Acerianus* » (1) che è una preziosissima collezione dei più utili manoscritti romani di agrimensura. Ecco dunque il fatto.

Accompagnava Gerberto intorno al Natale del 980 l'arcivescovo Adalberone alla volta di Roma. S'imbatterono a Pavia coll'Imperatore Ottone II, il quale fatta loro benevola accoglienza, li indusse a seguirlo fino a Ravenna. Stava al seguito dell'Imperatore, certo Otric, scolastico di Magdeburgo, il quale aveva concepito invidia della scienza di Gerberto, ed era divenuto geloso della di lui fama. Prese pretesto per iscreditarlo, dalla partizione che faceva Gerberto delle scienze, differente dalla sua. Disputavasi se la matematica dovesse considerarsi come una scienza collaterale alla fisica, ovvero piuttosto come una parte della medesima. La cosa, come si scorge, non era di molta

(1) Fu così denominata più tardi quella collezione, perchè venuta in possesso di *Giovanni Acerio* in Gröningen 1607. Cfr. CANTOR, op. cit., vol. I, p. 513 e 803.

entità, nè sarebbe stato difficile intendersi, quando non si fosse voluto sofisticare, ciò era appunto quello che intendeva l'Otric, pur di abbassare il suo emulo se gli veniva fatto, ma invece riuscì all'opposto. Nel sistema di Gerberto la matematica veniva coordinata alla fisica come la specie al genere, non dunque propriamente come scienza collaterale secondo pare volesse l'Otric. Comunque fosse e comunque la pensasse Otric, poichè credesi lui non mirare ad altro che a malignare, questi significò all'Imperatore che Gerberto andava assai errato sulla partizione delle scienze, non considerando come uguali e sorelle le due scienze, fisica e matematica, pretendendo egli di subordinare l'una all'altra. L'Imperatore, che molto stimava Gerberto, forte si meravigliò, che egli potesse essersi ingannato. Non vide altro mezzo di schiarire il punto controverso che quello di una pubblica disputa fra i due emuli scienziati nel suo stesso Palazzo di Ravenna, invitando ad assistervi i più dotti del paese.

Così là in Ravenna, alla presenza stessa dell'Imperatore Ottone II, fra il nostro Gerberto e quel rinomato dialettico, o piuttosto sofista, di Sassonia, s'ingaggiò una fervida disputa, divenuta poi famosa nella Storia, intorno a quell'argomento filosofico-matematico. Gerberto a sostegno della sua tesi appoggiavasi alle autorità di Platone, Porfirio e Boezio, ed Otric non faceva che moltiplicare cavillose obbiezioni; così da un punto molto semplice di controversia, si venne mano mano ad inoltrarsi nelle questioni più elevate non solo della metafisica, ma della stessa Teologia, senza mai potersi accordare; nè l'Otric n'aveva punto la disposizione. La conferenza, ossia polemica, durò quasi tutto il giorno, solo verso il tramonto del sole si cessò, non per parte dei contendenti, ma per cenno dell'Imperatore, che conobbe essere già stanchi gli uditori. Se Gerberto non riuscì definitivamente vincitore, non fu neppure vinto, atteso lo splendido saggio di dottrina da lui dato in quella disputa.

Sperava l'ambizioso Sassone che la vittoria sopra il suo emulo Gerberto gli fruttasse l'arcivescovado di Magdeburgo, da poco reso vacante, cioè nel 981, ma l'esito invece gli fu causa di sdegno e di avvilimento. Dovette udire i lusinghieri elogi espressi dall'Imperatore sulla valentia di Gerberto, e vedere i magnifici doni dal medesimo a lui largiti, e vedere inoltre che conseguenza della disputa era la nomina di Gerberto ad Abbate di Bobbio sulla Trebbia, nomina approvata poi

dal clero e dal popolo, canonicamente confermata dai Vescovi e dal Papa.

Fra le ragguardevoli costruzioni di quella cittadella primeggia la grandiosa e vasta fabbrica del monastero di S. Colombano, testimonio di quei fasti gloriosi, per cui Bobbio fu meritamente considerata come uno dei più importanti centri di coltura, che nel medio evo abbiano onorato l'Italia.

* 2 *

A Bobbio pure il novello Abbate aprì una scuola, che subito gli attirò allievi da tutte parti dell'Europa cristiana. Ma pur troppo non fu lunga la dimora di Gerberto in Bobbio. Trovò i monaci poco docili alle sue riforme, inimicizie per parte dei gran Signori, che si erano usurpati i beni del monastero; breve, dopo la morte dell'Imperatore Ottone II, avvenuta il 7 dicembre del 983, fece ritorno a Reims, festosamente accolto dal suo amico l'arcivescovo Adalberone, il quale cinque anni dopo morì, designando, per conto suo, Gerberto a succedergli. Ma per le brighe di Ugo Capeto venne preposto a quella sede Arnolfo figlio naturale di Lotario di Lorena, il quale ben presto, in un concilio di vescovi vi dovette rinunziare, e così nel 991, Gerberto fu proclamato metropolitano di Reims. « *Dell'abbate Gerberto*, esclamarono i vescovi elettori, *conosciamo sino dalla giovinezza la vita ed i costumi e abbiamo prove della sua dottrina nelle cose divine ed umane* [1] ».

* * *

Della vita di Gerberto interessandoci specialmente quelle notizie che hanno più stretta attinenza alla sua attività scientifica, non seguiremo qui le molte peripezie, a cui soggiacque Gerberto durante tutto il settennio di questa sua nuova dignità di arcivescovo di Reims. Non ostante la legittimità della sua elezione al tutto canonica per parte dei vescovi elettori, gli venne tuttavia assai contrastata dai partigiani di Arnolfo, che molto per lui si brigarono appresso il Papa Giovanni XV.

---

[1] *Archiepiscopum nobis eligimus abbatem Gerbertum, aetate maturum, natura prudentem, docibilem, affabilem, misericordem ... Huius vitam ac mores a puero novimus, studium in divinis ac humanis rebus experti sumus,* etc. Ep. 25. D.

Questi credette sospendere per la conferma di Gerberto, e le contese continuarono.

Per l'accennato motivo ommetto pure di presentare l'attività politica ed ecclesiastica di Gerberto, impiegato eziandio in affari diplomatici molto rilevanti e complicati di quell'epoca, per proseguire in ciò che riguarda la sua operosità scientifica.

Venuto egli di nuovo a Reims, comunicò una novella vita alla stessa sua scuola già sì famosa, come accennammo. Gerberto la porta al suo più alto apogeo. Da tutte le parti fa venire libri di matematica.

Ma ciò che più è mirabile nella vita di quest'uomo straordinario, si è che, pure in mezzo agli affari più spinosi d'ordine politico-ecclesiastico di quei turbinosi tempi, in Francia, in Germania ed in Italia, e costretto per le vicende a recarsi or qua or là per assistere a sinodi di vescovi, o per speciali servigi all'Imperatore Ottone III; egli trovasse sempre tuttavia il tempo di occuparsi dei suoi amati studi scientifico-letterari. Eppure in così poco favorevoli circostanze, egli detta ad istanza del medesimo Imperatore un'elegante iscrizione in dodici esametri, per essere scolpita sulla tomba di Boezio a Pavia. — Stando alla corte di Ottone III sollecita l'arcivescovo Ecberto di Treviri a mandare scolastici in Italia, e prega il suo amico Adalberone a prestargli un *Cesare*, desiderando trascriverlo. — Soprapreso da calamità e da terribili contrasti in Bobbio, invita il monaco Airardo a correggere e copiare un *Plinio*. — Tutto lieto annuncia poi all'abbate Giselberto essere finalmente riuscito a possedere uno scritto di Demostene sulle oftalmie, e l'ultima parte dell'orazione di Cicerone al re Dejotaro (Ep. 9). — Sono i giorni in cui Lotario si arma a portare guerra alla Germania, e Gerberto, che trema per la salute del suo diletto Ottone, sa trovare modo e tempo per comporre un trattato di Retorica pei suoi discepoli, che scrive sopra 26 fogli legati insieme (Ep. 92).

Egli chiama appresso di sè lo scolastico Costantino, perchè gli renda conto dei disordini accaduti a Fleury, ma nello stesso tempo lo prega di recar seco una copia del libro di Cicerone sulla *Repubblica*, e delle di lui orazioni contro Verre, ed altre scritture dell'immortale oratore romano (Ep. 87).

Ci è noto che il palinsesto della *Repubblica* di Cicerone scoperto dal Card. Mai apparteneva al monastero di Bobbio, di cui, come abbiamo detto, Gerberto fu abbate.

Nella lettera, in cui conforta il suo prediletto Rainaud di Bobbio,

gli chiede i libri di M. Manlio sull'Astrologia (Astronomia), quelli di Vittorino sulla Rettorica, e quelli di Demostene sulle oftalmie, di cui lo vedemmo già in possesso (Ep. 130).

Appena si riebbe alcun poco dei patimenti sofferti nel sacco di Reims, durante il suo soggiorno alla corte de' Re e l'assedio di Laon spedisce danaro all'abbate Ronulfo di Sens affinchè gli provvegga buoni ed utili manoscritti (Ep. 110). Nello stesso tempo prega il monaco Dietmaro di Magonza di empire una lacuna del libro di Boezio sulla interpretazione (περὶ ἑρμηνείας) che è di Aristotele (Ep. 123). In questo tempo medesimo istruisce Remigio monaco di Treviri intorno ai divisori dei numeri e per lui si pone a costruire una sfera celeste (Ep. 134), chiedendo a lui di rincontro un esemplare dell'*Achilleide*.

Ma non la finiremmo più se volessimo anche solo accennare, come abbiamo fatto fin qui, a tutti i tratti, coi quali l'uomo prodigioso mostrava la sua sete del sapere, egualmente che la tendenza di comunicare il suo sapere. Non possiamo tuttavia tralasciare di ricordare come trovandosi egli accanto all'Imperatore nel 995 schierato in accampamento sulle rive dell'Elba e dell'Oder, scrivesse appunto in questa spedizione il suo trattato sulla *relazione tra il razionale e l'uso reale della ragione.*

Ancora al seguito dell'Imperatore tedesco valica le Alpi. Questi intende andare a porre un fine al feroce regime del tiranno Crescenzio che dominava in Roma, e Gerberto compone intanto un trattato *sulla divisione aritmetica*, che dedica al suo discepolo Costantino di Fleury.

***

L'attività scientifica di Gerberto non vien meno anche in mezzo ad altri avvenimenti più singolari che riguardano la sua persona. Questi sono la sua promozione all'arcivescovado di Ravenna prima, e poco appresso, la elevazione al supremo soglio, ove più là non è possibile a mortale di salire.

Il giorno 9 di maggio del 996 muore Papa Giovanni XV, in quel tempo appunto, in cui egli stava nei pressi di Roma alla corte dell'Imperatore.

A successore del defunto Papa viene legittimamente dal clero e dal popolo eletto Brunone della casa di Sassonia, nipote di Ottone III, del clero della sua cappella, ancor giovane, dell'età appena di 24 anni,

sotto il nome di Gregorio V. Gerberto viene dall'Imperatore lasciato consigliere al giovane Papa. Come un po' più tardi si è veduto a lato di Leone IV il possente genio del grande Ildebrando, divenuto pur'egli stesso Gregorio VII, così ai fianchi di Gregorio V fu posto Gerberto, che presto vedremo lui stesso Papa sotto il nome di Silvestro II. Egli seppe così bene adempiere al delicato ufficio affidatogli di consigliare il novello Pontefice, che questi volle nel 998 ricompensarnelo nominandolo arcivescovo di Ravenna. Questa felice elezione serve a terminare definitivamente le questioni di Reims, tra Arnolfo e Gerberto, che sopra ricordammo, tanto agitate sotto il precedente pontificato di Giovanni XV.

*
* *

Ma ecco che trascorso appena un anno dacchè Gerberto fu eletto arcivescovo di Ravenna, che in lui s'avvera il celebre detto: « *Scandit ab R Gerbertus in R; post Papa viget R* ». Esprime esso la triplice di lui elevazione da Reims a Ravenna e da Ravenna a Roma [1].

Muore infatti il giorno 5 di febbraio del 999 il pio Pontefice Gregorio V, il primo Papa tedesco che salisse la Cattedra di S. Pietro, ed il giorno 2 di aprile dello stesso anno ascende Gerberto la stessa suprema Cattedra sotto il nome di Silvestro II, ed è il primo Papa francese.

Mirabile avvenimento fu questo. Se noi rammentiamo che Gerberto nato d'umile condizione ed uscito dall'infima classe del popolo venne poi eletto senza verun contrasto a quella sede che ha maggior lustro nel mondo, e immediatamente dopo un Pontefice di sangue imperiale, quale era Gregorio V della Casa degli Ottoni, dobbiamo ben dire che il suo merito avesse trovato sotto ogni rispetto molti e sinceri ammiratori.

Un'ammirabile purità di costumi portò egli sul soglio Pontificio, tanto più ammirabile per l'infausta epoca in cui lo salì. Combattè tosto con apostolico zelo la simonia e la vita licenziosa dei chierici. Nella scelta del nome stesso di Silvestro fece per avventura aperto

---

[1] Per certe leggende non attendibili si disse *fatidico* un tal detto. Secondo l'HERGENRÖTHER (op. cit., p. 266) sarebbe stato pronunciato di sè con dolore dallo stesso Silvestro II.

l'animo suo, ch'egli cioè si accollava le medesime imprese che il glorioso Papa S. Silvestro I seppe con tanto onore condurre a capo, sotto l'impero di simili circostanze. Il secolo decimo dell'Era cristiana stava per chiudersi, e mentre girava il detto *mille e non più mille*, Papa Silvestro II volgeva nell'animo disegni di grande momento. In un appello a tutta la cristianità in favore di Gerusalemme e dei luoghi santi, rappresenta a vivi colori l'abbandono e la desolazione di quelle terre in cui visse e morì il divin Salvatore, esorta i fedeli a sorgere campioni, gonfalonieri e commilitoni di Cristo, eccita quelli che non possono colle armi, a prestarsi alla grande impresa col consiglio e coi beni loro. Fa osservare lo spaventoso contrasto tra l'attuale umiliazione e la gloria promessa del Sepolcro di Cristo. Nelle sue parole si scorge che il suo spirito aveva già concepito la grand'opera delle Crociate, che un mezzo secolo dopo, un suo più grande successore, S. Gregorio VII, rivolse di nuovo nell'animo, e che altri cinquant'anni appresso trasse a capo Urbano II. Il primo invito fatto da Silvestro II non rimase tuttavia del tutto caduto a vuoto, perciocchè i Pisani allestirono più legni per soccorrere gli abitatori di quelle contrade. Questo primitivo inizio del grande fatto storico delle Crociate, che tenne per secoli occupata l'Europa cristiana, e che, qualora così piacesse chiamarla, sarebbe una prima crociata rudimentale per opera di Silvestro II, meritava pure venisse ricordata anche in una monografia illustrativa dell'opera scientifica di Gerberto.

Questo fatto riesce ad una aureola di quella gran mente, e più ci convince della serietà dell'uomo in tutte le sue posizioni, e quale ardore dovesse porre nell'eccitare i suoi scolari alla scuola di Reims, se ora come Capo della Chiesa spinge tutti i cristiani per la grande opera della gloria del Sepolcro del Signore. Illustra il carattere di Gerberto che non si smentisce, nè a Bobbio, nè a Reims, nè a Ravenna, nè a Roma.

***

Sembrava che almeno qui come Papa dovesse arrestarsi la sua applicazione alle scienze. Questo Pontefice sì zelante che esercita una universale sollecitudine per tutte le Chiese del mondo; che per primo dà il segnale per la lotta armata dell'intera cristianità contro l'impero anticristiano di Maometto; che provvede alla nazione unga-

rica tratta alla fede cristiana dal suo Duca Stefano, a cui conferisce il titolo di Re Apostolico, titolo ed epiteto che conservarono tutti i suoi successori; che estende a tutta la Chiesa la solenne Commemorazione di tutti i fedeli defunti il 2 Novembre, introdotta l'anno precedente 998 da Odilone nel suo monastero di Cluny, per nulla dire degli affari coi Principi di tutta Europa e con tutti i Vescovi: Papa Silvestro II, senza nulla pregiudicare al suo altissimo ufficio di Padre e Pastore universale, trova tempo eziandio di tenere corrispondenza epistolare di argomenti scientifici. Ed ora egli scrive una lettera a Costantino Abbate Miacense sopra soggetto astronomico ([1]), ora risponde con uno speciale lavoro di argomento geometrico ad Adalboldo di Utrecht. Consultava questi il Papa sulla misura del cerchio e della sfera, ed il dotto Pontefice in quel suo lavoro di risposta gli rende nota precisamente la regola per determinare il volume o cubatura della sfera, cubatura indicata da lui colla parola *crassitudo*. Osserva il Cantor che il Papa spiega le regole e scioglie i dubbi con piena esattezza ([2]).

Così Gerberto portò la sua scientifica attività fino sul soglio di S. Pietro, senza punto venir meno al pastorale suo officio, che esercitò per quattro anni, un mese e nove giorni, avendo cessato di vivere agli 11 di maggio del 1003. Fu sepolto sotto l'atrio della Basilica di S. Giovanni in Laterano ([3]).

Se Papa Silvestro II avesse sortito un più lungo pontificato e tempi più tranquilli, non v'ha dubbio che avrebbe grandemente ancor più contribuito a far rifiorire le scienze.

Che se le importantissime sue cure consecrate alla Chiesa ed allo Stato resero ammirabile Silvestro II, quelle più prolungate, da

---

([1]) « Als Papst sogar fand Gerbert Zeit einen astronomischen Brief an einen Constantinus als den eben gennanten zu schreiben ». CANTOR, op. cit., p. 808. Cfr. *Œuvres de Gerbert* (ed. Olleris), p. 429, al titolo: « *Gerbertus Constantino Miacensi Abbati* »

([2]) « Gerbert erlaütert ihm die Sache ganz richtig ». Op. cit., p. 815.

([3]) Papa Sergio IV, il terzo dei suoi successori (1009-1012), pose sulla di lui tomba il noto epitaffio, che comincia:

Iste locus mundi Sylvestri membra sepulti
Vsnturo Domino conferet ad sanitum...

Risulta di dodici distici. È riferito per intero tanto dall'Hock quanto dal Bzovius.

lui adoperate per l'avanzamento delle scienze, lo fecero ammirabilissimo. In ogni periodo, in ogni circostanza della sua vita, come vedemmo, sebbene di passaggio, apparve il sommo studio con cui coltivò le scienze; alle stesse consecrando le sue influenze, la sua attività, le sue energie.

Qual ristoratore delle scienze in generale, e segnatamente delle matematiche, lasciò Gerberto una profonda traccia nella sua generazione. Iniziò tuttavia il suo insegnamento alla scuola di Reims colla dialettica. In quest'arte dello scientificamente discutere e ragionare tolse a spiegare l'introduzione di Porfirio, secondo le versioni ed i commentari di Vittorino e di Manlio; espose le categorie d'Aristotile, il suo libro dell'interpretazione περὶ ἑρμηνείας; i quattro libri sui topici o fonti degli argomenti. Abituati così i suoi scolari a' filosofici concetti passava alla retorica. E qui pure non credendo possibile che i suoi scolari arrivassero a possedere l'arte del bello dire e dell'efficace persuadere, se prima da' poeti non avessero apprese le belle maniere del parlare, egli da principio leggeva loro e spiegava gli epici, come *Virgilio*, *Stazio;* poi i tragici ed i satirici, quali *Terenzio*, *Giovenale, Persio, Orazio;* da ultimo anche l'istoriografo *Lucano*. Preparati così i suoi discepoli, li introduceva mediante opportuni esercizi alla rettorica propriamente detta. Per addestrarli poi alle dispute, mettevali come alle prese con un sofista, insegnando loro a procedere nella polemica con tal arte, che l'arte istessa non avesse ad apparire ciò che meritamente stimavasi la perfezione dell'oratore.

In tal guisa il maestro Gerberto compiva quella parte del programma dell'insegnamento che allora chiamavasi il *trivium*. Indi passava al *quadrivium* (¹), cioè alle matematiche in genere, adoperandosi

(¹) Mi occorre di ricordare qui appena cosa già nota, cioé che in antico l'insegnamento era costituito delle cosidette sette arti liberali, *artes liberales*, le quali formavano come due gruppi. Il primo costituito della grammatica, rettorica, e dialettica o logica chiamavasi *trivium;* il secondo gruppo denominavasi *quadrivium* e comprendeva l'aritmetica, la geometria, l'astronomia e la musica; era il gruppo delle matematiche. A questi sette rami, il celebre Varrone vi univa la medicina e l'architettura, e così di lui abbiamo i « *Novem libri Disciplinarum* ».

Le sette arti liberali, sotto i detti nomi di *trivium* e *quadrivium*, si perpetuarono nell'insegnamento romano della decadenza, poi a traverso le scuole claustrali e le Università del medio evo e del rinascimento, esse sussistettero in tutte le scuole dell'occidente fino al secolo XVII. Formarono in seguito il sostrato dei programmi delle ultime nostre scuole dette d'umanità.

con molto impegno a dare le nozioni dell'*aritmetica*, base di tutte le matematiche, servendosi del suo *abbaco*.

*
* *

Era l'abbaco come l'istrumento che facevasi servire al calcolo. Consisteva in una specie di tabella divisa in 27 colonne o caselle, in cui stavano inserti sopra pallottoline caratteri speciali, che tenevano luogo delle nostre nove cifre. Alternando opportunamente quei segni si ottenevano i risultati di una infinità di moltiplicazioni e divisioni d'un numero qualunque per quanto grande. Mediante una grande quantità di esempi, che Gerberto proponeva, facilissime tornavano cotali operazioni, meglio che con qualsiasi teorico insegnamento. Però, come dice Richerio, non è possibile acquistare di quest'abbaco una piena conoscenza, se non leggendo per intero il libro da lui scritto al grammatico *Costantino*.

Il calcolo per quei tempi e per quei luoghi era molto utilizzato per la scienza stessa dell'*estensione* ossia della geometria, e così l'abbaco serviva pure al calcolo geometrico. Di qui il Cantor trae argomento a dimostrare che Gerberto non aveva attinto il suo abbaco dagli Arabi, i quali per nessun modo consideravano il calcolo come parte della Geometria. Ma di più non sono arabe le colonne di cui constava quella tabella, nè arabo era l'uso di quei nove speciali segni senza lo zero, usati da Gerberto. Si vuole piuttosto che le fonti, donde egli può avere attinte le sue prime cognizioni matematiche, magistralmente in seguito dal suo potente genio sviluppate, fossero di origine greco-latina.

*
* *

Tutto pratico era pure l'insegnamento geometrico di Gerberto. Con una canna (arundo), mediante le ombre, uno specchio ed altri simili molto semplici strumenti, insegnava ai suoi discepoli a determinare la distanza d'un oggetto inaccessibile, come l'ampiezza d'un fiume, l'altezza d'un albero, d'una torre, d'un monte, la profondità di un pozzo. Di tal sorta erano le operazioni geodetiche di Gerberto. Si tratta a mo' d'esempio di trovare l'altezza d'una torre; pianta in un certo punto sul terreno il suo palo di nota altezza, poi retrocede tanto

che la visuale dell'osservatore passante per la cima del palo si continui nel suo prolungamento alla cima della torre, con semplici rapporti per i noti lati di due triangoli simili che ne risultano, trova l'incognita ossia l'altezza cercata della torre.

Per determinare l'altezza d'un monte si serve pure d'uno specchio, dal quale fa riflettere l'imagine della sua sommità sull'occhio d'un osservatore di nota statura, che mette in conveniente rapporto coll'altezza cercata del monte.

Anche le ombre degli oggetti proiettate servono a Gerberto per calcolare le altezze, paragonandole con quelle di altri oggetti conosciuti.

Noi abituati per la soluzione di simili problemi, a servirci delle note formule di trigonometria, ed usare per il calcolo le tavole logaritmo-trigonometriche, rideremo forse di simili metodi primitivi per la risoluzione numerica dei triangoli, ma noi li ricordiamo semplicemente sotto il rispetto storico, poichè è importante di notare qui come si fu per il tramite di Gerberto che l'Occidente mantenne le nozioni geometriche. Merita d'esser riferito il metodo un po' curioso, originale, caratteristico, e per così dire *militare o di balistica* di Gerberto per misurare le altezze delle mura di una città. Due freccie, legate ciascuna ad una funicella, si lanciano, una alla cima ed un'altra alla base del muro, di cui si cerca l'altezza. Le due sviluppate cordicelle, misurate che sieno, ci daranno noti l'ipotenusa ed un cateto di un triangolo rettangolo. Di qui poi, col noto teorema di Pitagora, nessuna difficoltà a calcolare l'altezza della muraglia, rappresentata dall'altro cateto. Basterà dunque estrarre la radice quadrata dalla differenza dei quadrati delle calcolate lunghezze delle funicelle. Il metodo è generale e può servire per la ricerca dell'altezza d'un oggetto qualunque, che possa essere colpito in alto ed in basso dalle due freccie.

Capitale nell'analisi delle figure geometriche è determinare il valore della loro superficie ossia l'area. La figura che vuolsi esaminare per la prima, insegnava Gerberto, è il triangolo. Il triangolo, dice, occupa il primo posto fra le figure geometriche *propter suam principalitatem*, poichè nessuno spazio può essere limitato e circoscritto da un numero di lati minore di tre. Di rincontro invece ogni altra figura poligonale può essere divisa in tanti triangoli. Quindi il triangolo è come l'elemento figura, a cui tutte le altre si possono ricondurre. Gerberto in tali questioni presenta delle relazioni e dei rapporti singolari, che, per allora almeno, erano nuovi, sui triangoli detti *Pitagorici*,

quali sono quelli che hanno un angolo retto, meritevoli di considerazione. Qualche esempio sarà riferito più innanzi, ma non possiamo soffermarci di più sull'insegnamento geometrico, per delibare qualche saggio di Gerberto anche negli altri rami del *quadrivio*, cioè *astronomia e musica.*

*
* *

A rendere in certo modo sensibile una scienza, quasi al tutto intellettuale e speculativa, come è l'astronomia, Gerberto costruisce degli ingegnosi strumenti, meravigliosi e nuovi per i tempi e luoghi ove egli trovavasi; essi sono le sfere artificiali, rappresentanti il grande universo colla similitudine del piccolo.

Ne costruì di tre forme. Una sfera di solido legno, oltre il cielo aveva un circolo massimo orizzontale, che rappresentava l'orizzonte, un diametro proporzionatamente obliquo all'orizzonte, secondo l'altezza del polo, figurava l'asse del mondo. Sull'orizzonte segnati i punti cardinali. L'osservazione degli astri, quando sorgono all'oriente e volgono all'occaso, suggerì i circoli paralleli all'equatore, sui quali si muovono.

Un'altra sfera, oltre la posizione dei cinque circoli principali, aveva anche quello che rappresentava l'ecclitica e lo zodiaco, intorno a cui vanno indicate le orbite dei pianeti.

Una terza sfera celeste porgeva da ultimo la volta del cielo; i singoli astri erano segnati da cuspidi in ferro o bronzo, così aggruppati da presentare le varie costellazioni. Un tubo in ferro serviva a mirare la stella polare, per orientare, ogni volta che si volesse, la sfera.

Cotali strumenti non erano certamente di *prima* invenzione di Gerberto, perchè questa rimontava ad epoche anteriori di secoli; ma per quei *tempi* e *luoghi* essi erano sconosciuti; ecco perchè i suoi discepoli ed i contemporanei restavano stupiti dinanzi a tali strumenti per loro tanto meravigliosi. Poichè, mediante essi, ognuno, per quanto ignaro della scienza astronomica, riusciva subito a trovare in cielo tutte le costellazioni, tosto che solo di una di esse venisse additata l'imagine sulla sfera artificiale.

Oltre delle sfere servivasi pure Gerberto del famoso strumento degli antichi, detto *astrolabio*, la cui invenzione risale ad Ipparco. Fu usato pure da Tolomeo per determinare in longitudine e latitudine le coordinate delle stelle. In sostanza non differiva da una sfera armil-

lare ([1]). Ma più tardi sotto il nome di astrolabio intendevasi significare anche uno strumento più semplice, in uso presso i naviganti, per misurare l'altezza di una stella. Era un circolo, od un quarto di circolo graduato, nel qual caso dicevasi *quadrante*. Nel centro era applicata un'*alidada* girevole, come traguardo, per cui si poteva fissare una stella particolare. Tenendo verticale il piano dell'istrumento, si potevano leggere i gradi dell'altezza dell'astro dall'orizzonte. Sembra che Gerberto si servisse anche di quest'ultima specie di astrolabio per misurare le altezze degli oggetti inaccessibili ovvero la lunghezza di una pianura. Il misuratore per quest'ultimo caso inclinava il tubo dell'astrolabio in modo che potesse vedere l'estremità della stessa pianura. La sezione determinata dell'astrolabio sta all'intero lato del medesimo, come l'altezza del misuratore alla lunghezza della pianura ([2]).

Non è di tutti i matematici possedere l'arte musicale, eppure in questa ancora era espertissimo il nostro Gerberto; e quel che è più la rese popolare in quei paesi, cioè nelle Gallie, ove per lo meno, da lungo tempo era ignorata ([3]). Veniva con ciò a completare l'insegnamento del *quadrivio*. E qui pure, oltre il proprio naturale organo della voce, usava lo istrumento artificiale del *monocordo,* ossia, come dice la parola stessa, d'una sola corda. Si sa che constava esso d'una tavoletta di risonanza, al di sopra della quale era tesa una corda su due fissi cavalletti. Mediante il monocordo sottoponeva Gerberto i generi musicali all'intuizione, diremo così, insieme ed al calcolo. Facendo vibrare questa corda

---

([1]) Cfr. *Lexicon der Astronomie* von Dr. HEINRICH GRETSCHEL. Leipzig, 1882, art. *Astrolabium*, p, 33. « Quanto caro fosse, dice il ch^mo^ P. MÜLLER nei suoi *Elementi di Astronomia*, questo istrumento agli astronomi antichi, lo mostra la ricca letteratura dei Trattati che descrivono la sua costruzione ed il suo uso. Basti nominare quello del P. CLAVIO pubblicato nel 1611 in Magonza « *Astrolabium tribus libris explicatum* ». Vol. I, p. 69. Roma, 1901.

([2]) In sostanza questo astrolabio più semplice usato da Gerberto sembra essere quello, a cui si sostituì poi lo strumento denominato *Raggio astronomico* (Radius astronomicus) volgarmente detto *Bastone di Giacobbe* (Baculus Iacob), sebbene, come dice il GRETSCHEL (l. c.), rimanesse quell'imperfetto strumento in uso fino al passato secolo. « Obwohl schon frühzeitig vielfach durch den Jacob Stab vordrängt, blieb dieses mangelhafte Instrument doch bis vorige Jahrhundert im Gebrauch ». Intorno al *Bastone di Giacobbe* detto anche *Balestriglia* o *Croce astron.*, vedi MÜLLER, op. cit., I, p. 130.

([3]) ROHRBACHER, *St. Univ.*, vol. VII, p. 172.

si aveva il *tono-regola* (• *canone* • l'*unisono*). Un cavalletto mobile permetteva di suddividerla in differenti lunghezze. Collocato questo cavalletto al di sotto del mezzo della corda canone, cosicchè restava divisa da esso in due parti eguali, l'esperimentatore poteva constatare che ciascuna metà dava lo stesso suono, che è quello dell'ottava alta. Continuando così la divisione per metà, si ottiene $^1/_4$ della lunghezza primitiva cioè la seconda ottava alta, e così via per $^1/_8$ la terza ottava alta e così di seguito, essendo sempre l'ottava, dell'ordine m.esimo della potenza rispettiva del 2 nella frazione $\frac{1}{2^m}$ fino a che si finisce a non intendere più suono di sorta, malgrado la vibrazione della corda, così divisa in progressione geometrira decrescente avente per rapporto $^1/_2$. Si capisce che i suoni così generati, non cambiano per nulla la melodia d'un aria che li faceva udire, sia simultaneamente sia successivamente. Ma se gl'intervalli che sono come 1 : 2 non hanno dato che ottave, quali suoni daranno gl'intervalli che fossero rispetto all'unisono, come 2 : 3. ?. Tale questione fattasi dagli antichi, mediante l'esperienza si ottennero le *quinte*, che colle *ottave* formano due suoni che piacciono a tutte le orecchie; è la base dell'*accordo perfetto*. Di qui si passò a cercare i suoni i cui intervalli fossero come la serie naturale dei numeri 1 : 2 : 3 : 4 : 5 .... relativamente all'unisono. E così l'esperienza diede la *quarta* per il rapporto di 3 : 4, la *terza maggiore* per quello di 4 : 5 e la *terza minore* per quello di 5 : 6. La sensazione più armoniosa era prodotta dall'ottava quarta e terza maggiore, toccate sia simultaneamente come successivamente, ed è l'*accordo perfetto maggiore*. 1 : 2 : 3 : 4. cioè $^1/_2 : {}^1/_3 : {}^1/_4$ formano la proporzione armonica e continuando risulta la serie, detta appunto dai matematici, serie *armonica*.

Ecco perchè dagli antichi si considerava la musica come ramo delle matematiche, formanti il celebre da noi ricordato *quadrivium*, *Aritmetica*, *Geometria*, *Astronomia*, *Musica*.

* * *

Il monocordo dunque per la musica, le sfere per l'astronomia, l'abbaco per l'aritmetica, la canna per le misure geometriche di distanze inaccessibili, furono gl'istrumenti, non diremo inventati, ma suscitati di nuovo, perfezionati, e sempre poi certamente costruiti da Gerberto medesimo, dei quali servivasi per comunicare con più faci-

lità nei suoi discepoli ed in altri le molteplici ed importanti sue scientifiche cognizioni. Se ne deduce di leggieri quale ardore per tali studi dovesse eccitare Gerberto in quel decennio ch'egli fu alla direzione della scuola di Reims, e come all'eccitato ardore corrispondesse la divulgazione della rinomanza del maestro, e come colla fama si accrescesse il numero stesso dei discepoli.

Fosse pertanto anche vero, secondo vuole il Cantor, che Gerberto in quella famosa scuola non avesse insegnato cosa *sostanzialmente nuova* « wesentlich neues » tuttavia è vero, secondo lo stesso moderno storico delle matematiche, ch'egli insegnò con un *successo nuovo*, non da altri ottenuto avanti di lui, almeno in quei tempi e in quelle parti. « Er lehrte es mit neuem Erfolge » (Op. cit., p. 820-821).

Fra i più illustri dei suoi discepoli si contano i due Imperatori *Ottone II* ed *Ottone III;* il principe, poi Re, *Roberto* di Francia; *Fulberto* Vescovo di Chartres, dai suoi contemporanei chiamato il *Socrate dei Franchi*, che aprì egli stesso a Chartres verso il 990 una scuola, divenuta dopo quella di Reims la più celebre al suo tempo. Usciti pure dalla sua scuola i due Abbati successivi di Mitlac, Nitardo e Remigio, della Diocesi di Treviri, richiamarono, ritornati che furono al loro monastero, in tal fiore le scienze e le lettere, che divenne questo stesso monastero, una scuola tanto fiorente che vi concorrevano studiosi da non poche Provincie di Francia e di Germania. Gerberto era l'oracolo di tutti i Vescovi ed Abbati di Francia. La sua fama e le sue relazioni si estesero all'Inghilterra e fino all'Ungheria.

Altri gloriosi discepoli di Gerberto furono lo scolastico Adalboldo, consigliere, biografo, versato in tutte le scienze che in quel tempo fiorivano nella Lorena, Costantino, ed Abbone di Fleury. Finalmente nomineremo Richerio, monaco di S. Remigio di Reims, dalla cui opera storica molto si è attinto dagli scrittori per narrare con una maggiore larghezza i meriti di Gerberto.

* * *

Non pago d'istruire coloro che frequentavano a Reims la sua scuola, comunicava per iscritto a' lontani le proprie cognizioni e scoperte scientifiche, che più innanzi esamineremo. Faceva moltiplicare e diffondere esemplari di buoni libri. E noi sapppiamo che a' quei tempi prima della invenzione della stampa la cosa non riusciva così facile

come adesso. Quanti copisti occorreva mettere in opera, poi sorvegliarli e correggerne le tante mende?

Una doviziosa biblioteca aveva già egli tutto da sè formata, nè a cure e spese perdonava pur di raccogliere ogni fatta di opere di scienze e lettere, sacre e profane, antiche e moderne. Reiterate istanze a mezzo di Adalberone presenta al Cardinal diacono Stefano, da lui conosciuto nell'anno 975, affine di ricuperare gli esemplari di Svetonio Tranquillo ed Aurelio Vittore, che aveva presso di lui lasciato. Simili copie di libri chiedeva pure ad Edoardo Vescovo di Tours. Anzi da una sua lettera scritta a questo medesimo Prelato apprendiamo, che quella numerosa collezione di manoscritti se l'era formata percorrendo l'Italia, la Germania, il Belgio.

* * *

Resa così manifesta l'attività scientifica di Gerberto, ad esaurire il nostro compito ci tocca esaminare la sua opera scientifica, ossia i suoi scritti, i suoi lavori, e discutere se nulla a lui si attribuisca di nuovo dagli storici della scienza, o se gli spetti soltanto il successo di avere fatto progredire la scienza in quel secolo, che fu riputato la negazione della scienza.

Molti degli scritti di Gerberto sono rimasti inediti, i quali si trovano raccolti nella Biblioteca Vaticana. La più parte però delle sue opere venne alla luce, e la più completa raccolta fu fatta dall'*Olleris* a Clermont-Frd e Paris nel 1867 col titolo « *Œuvres completes de Gerbert* ». In questa collezione trovasi il « *libellus de ratione et rationali* » in cui Gerberto si mostra abbastanza spiccatamente filosofo platonico, specie sulla natura degli *universali;* cita tuttavia Porfirio e Boezio come suoi introduttori alla filosofia d'Aristotile.

Le lettere di Gerberto furono stampate a più riprese, ma nel modo più completo e corretto dal sullodato Olleris. Se esse non sono scritte in una classica latinità, questa è però sempre vigorosa ed ardita piena di nerbo e d'armonia. Non mai oscuro, nè diffuso, Gerberto sa sempre rinvenire l'espressione più rispondente alla gagliardia degli affetti, alla forza della convinzione, all'eccellenza della dignità. Comunque si giudichi dall'esterior forma dello scrivere di Gerberto, le sue lettere dal lato storico sono d'un grande interesse per la storia del secolo decimo. Nella collezione di queste lettere si

leggono quattro epitaffi, da lui composti in versi esametri per il Re Lotario, per l'Imperatore Ottone II, per il duca Federico dell'Alta Lorena e per lo scolastico Adalberto, discendente d'una nobile famiglia belga.

Un merito veramente poetico ha il carme sopra Boezio dedicato all'Imperatore Ottone III.

Di Gerberto vi sono pure epigrammi, vi sono apologie, come quella in sua difesa sulla deposizione di Arnolfo Arcivescovo di Reims.

Come storico egli redige gli atti del Concilio di Ravenna e dà piena relazione del Concilio detto *Musoniense* o di Mousson. Un saggio della sua arte del bello parlare si ha nella « *Oratio episcoporum habita in Concilio Caumio.*

Dobbiamo di più credere che Gerberto non ignorasse la lingua greca se delle sue cognizioni di greco portò vanto Ottone III all'occasione in cui chiamollo alla sua corte (1).

* * *

Ma non è nel genere letterario che intendiamo presentare Gerberto, come uomo eccellente sopra il comune, ma sì nello scientifico, e segnatamente matematico; quantunque la letteratura e l'eleganza, non studiata ma semplice, tanto piaccia nei lavori scientifici, e sia uno dei più belli ornamenti. Per questo con tanto diletto leggiamo le opere del nostro grande Galileo. Quanto a Gerberto, dice il suo discepolo Richerio, si riscontrava nel suo metodo d'istruire un'ammirabile dovizia di letterarie cognizioni, che lo rendevano al tutto attraente. Simili doti si notano nei suoi scritti.

Gerberto scrisse un'*Aritmetica*, una *Geometria*, ed un trattato *sull'uso dell'Abbaco.*

Questo ci viene innanzi in primo luogo col titolo *Regula de Abaco computi.* È il manuale da lui composto ed usato per l'insegnamento delle matematiche alla scuola di Reims. Si reputa come genuina invenzione di Gerberto l'introduzione da lui fatta, in ogni colonna, di quelle pallottoline, di cui sopra abbiamo fatta menzione, segnate con caratteri fra loro differenti chiamati *apices,* riputati d'origine indiana.

(1) Hock, op. cit., p. 152. — Ed il Bzovio dice che Ottone III appunto: *graece et latine doctissimum appellavit.* Op. cit., p. 22.

Servono ad indicare le cifre da *uno* a *nove* e quindi combinate, tutti i numeri. Come pure sopra accennammo, non v'era simbolo per lo zero. Sembra che fosse facile passare da quel sistema concreto a dinotare con il metodo decimale i numeri, pure pare che questo passo da Gerberto non si facesse. Una completa invenzione di qualsivoglia genere di cose, il più delle volte avviene a poco a poco per il contributo di molti. Uno aggiunge un grado di perfezione a quello posto dall'altro.

Il titolo stesso non è senza interesse, in quanto che la parola *computo*, non è ristretta ad indicare, come intendiamo ora, il calcolo speciale di trovare la Pasqua o altro simile, ma calcolo *in genere*.

Si è creduto che Gerberto abbia scritto la sua *Regula de Abaco computi* mentre era Sommo Pontefice. Fra gli altri lo stesso Cantor è di questa opinione. Questo illustre storico moderno della matematica si fonda per tal suo parere sopra un passo di *Bernelino*, uno dei più distinti allievi della scuola di Gerberto, e divenuto pur esso celebre nella storia delle matematiche, in quanto specialmente segna il tratto intermedio fra gli Abacisti e gli Algoritmisti. Il passo in discorso sarebbe questo: « *Si domini papae regula de his subtilissime scripta tantum sapientissimis non esset reservata, frustra me ad has compelleres scribendas* » [1]. Da questa espressione « *Si domini papae regula* » trae appunto argomento il Cantor, d'assegnare il tempo in cui Gerberto avrebbe scritto questo suo lavoro, cioè durante il suo Pontificato, ossia in quanto era Papa Silvestro II.

Dice egli infatti: « Die Regel ist sodann von Gerbert *als Papst*, wie der Ausspruch des Bernelinus gleichfalls verstanden werden kann, verfasst worden » (p. 820). « *La regola è stata allora composta da Gerberto come Papa, come può essere intesa l'espressione di Bernelino* ». Giustamente l'espressione può lasciare intendere anche questo, ma non ci sembra un sicuro criterio. Poichè attesa l'identità della persona di Gerberto e di Silvestro II, il Bernelino poteva benissimo dire « *Domini Papae Regula* » anche se l'avesse composta qual Maestro della scuola di Reims; ed ora per dare maggior lustro al suo Abaco dalla più sublime dignità a cui pervenne il maestro, chiamarla « Regola del Papa » a quella guisa, ad esempio, che noi diciamo *le poesie*

---

[1] Si trova nel « *Liber Abaci* » dello stesso Bernelino unito alle opere di Gerberto, edite dall'Olleris » *Œuvres de Gerbert* ». p 357.

di Leone XIII, anche se si tratta di quelle che scrisse quando era scolaro nel Convitto di Viterbo; giacchè sappiamo che fin dall'età di 13 anni egli scriveva bellissimi versi latini. Di più il « *Liber Abaci* » del Bernelino, molto probabilmente non è che un compendio delle lezioni del suo maestro. Questo lavoro è inoltre un nuovo argomento che Gerberto nulla ha attinto delle sue cognizioni dagli Arabi, come deduce dall'analisi di esso l'Hoeffer « *Cet ouvrage est d'une grande importance en ce qu'il montre que Gerbert n'a rien emprunté aux Arabes et encore moins aux Indiens* » (Op. cit. p. 315).

Il calcolo delle frazioni per le quali prese a base il 12 forma la chiusura. In tutto havvi l'impronta romana.

Scrisse, probabilmente circa l'anno 997, il « *Libellus de numerorum divisione* » indirizzato a Costantino di Fleury, detto il *grammatico*, per coloro che vogliono imparare a moltiplicare e a dividere facilmente numeri molto grandi. Di questo trattato il celebre matematico francese Michele Chasles nei Rendiconti dell'Accademia delle Scienze di Parigi ha dato una traduzione ed un commentario, che meritano d'essere proposti come modelli. Quando un illustre e chiarissimo geometra moderno, quale lo Chasles, autore della stimatissima opera « *La Géométrie Supérieure* » e dell'altra impareggiabile « *Aperçu historique* » si occupa in tal modo dei lavori matematici di Gerberto, è già respinta in antecedenza ogni censura che si possa muovere, se pur noi rievochiamo del medesimo Gerberto i lavori matematici, quantunque scritti nel cuore del medio evo.

Sebbene non ci sia possibile di determinare con precisione quello che in quest'opera è proprio ed originale di Gerberto e quello che vi ha dello scritto dello *spagnuolo Giuseppe* [1], tuttavia è fuor di dubbio essere di Gerberto quanto egli dice nell'introduzione sui diti (*digiti*) e sulla suddivisione dei *diti* (*articuli*), e quanto insegna sul modo secondo il quale un numero si può considerare ora semplice ed ora composto, ora come *dito* ed ora come *articolo.* Ai nostri tempi, in cui possediamo i grandi perfezionamenti dati al calcolo mediante l'uso degli infiniti e degli infinitesimi, ci sembrano cotali nozioni primitive di calcolo, di poco pregio; eppure esse hanno non solo il pregio storico, in quanto ci ricordano il successivo e graduato progresso scientifico, ma anche in quanto, almeno allora, avevano una importanza spe-

[1] CANTOR, op. cit., p. 806, 807, 820.

ciale pel calcolo della grandezza dello spazio angolare compreso dai lati e dal raggio geocentrico, per misura, come allora dicevasi, del cielo e della terra. A mezzo pure dei diti insegnava parimente Gerberto la moltiplicazione, componendo su questo argomento apposito libro, il « *libellus multiplicationis* » che corre tra le opere matematiche di Gerberto.

* * *

Mirabili sono pure i contributi da Gerberto arrecati alla Geometria. Il suo trattato originale di Geometria fu rinvenuto a Salisburgo nel monastero St. Peter nel XII secolo, probabilmente fra il 1127 e il 1160 (1). Circa le fonti di cui si valse, abbiamo già escluse le arabe. A conforto della nostra esclusione aggiungiamo che egli non nomina verun arabo autore, eppure nei capitoli 9 e 11 nomina Pitagora; nel 13° cita il Timeo di Platone; nel 1° il Commentario di Calcidio; nomina Eratostene nel 93°; ricorda le categorie di Aristotile nell' 8°, finalmente l'aritmetica di Boezio nel 6° e nel 13°.

Con tale copia di citazioni, perchè tacere proprio ed assolutamente degli Arabi, se studiati li avesse? Pure, si dirà, s'incontra una parola araba, sebbene unica, cioè *Alidada* che indica il noto istrumento per misurare gli angoli: ma si crede con fondamento che vi sia stata inserita poi (2).

Quanto alle fonti greche, certamente nella Geometria di Gerberto non si riconosce traccia del metodo di Euclide. Riflettiamo poi che Euclide era in quell'epoca e per tutto l'occidente divenuto come una incognita. Piuttosto, quello che non avesse da sè escogitato, in gran parte, probabilmente, sarebbe stato attinto da Erone (3). Ma si esclude parimenti che nel comporre la sua Geometria Gerberto siasi servito di quella di Boezio, poichè non l'aveva ancor conosciuta. Infatti egli la scrisse fra il 981 e 983, ossia nel primo periodo della sua vita di Reims, laddove la geometria di Boezio gli capitò alle mani la prima volta quando trovavasi in Mantova, nel 985, cioè due anni più tardi.

Sarà tuttavia sempre difficile assegnare quello che propriamente abbia da sè escogitato Gerberto nelle sue speculazioni geometriche,

(1) CANTOR, op. cit., p. 809.
(2) *Œuvres de Gerbert* (ediz. Olleris) p. 425.
(3) Cfr. CANTOR, op. cit., p. 810.

e lasciato poi nella sua *Geometria.* Soltanto per congettura ci lascia intravedere, ad es., che tutta la parte media, cioè dal Capitolo 16° al 40°, possa essere frutto del suo ingegno. La ragione si è, ch'egli sempre fedele a citare quello ch'era d'altri, per tutte quelle cognizioni geometriche fra quei due capitoli comprese, non cita geometra alcuno. Cotali cognizioni riguardano quelle pratiche misure geodetiche, da noi più sopra ricordate, che si riferiscono alle distanze inaccessibili, altezze, profondità ecc.

Secondo avvisa il Cantor « *tali metodi non sono stati inventati tutti d'un tratto, e tanto meno da un puro teoretico*, quale egli crede Gerberto, *non ostante la sua vita agitata che lo portava ora presso militari accampamenti, ora a migrare fra paesi di nemici. Ed ancora*, continua l'illustre storico, *un ulteriore motivo contro la probabilità di riconoscere lui stesso come inventore, si ha da ciò ch'egli dice sempre: l'altezza « si misura » così e così e non mai « io misuro »* (Op. cit. p. 813).

Ma contro l'asserzione che Gerberto sia « *ein blosser Theoretiker* » sta la costruzione di tutti quegli strumenti, che abbiamo veduti ed altri che vedremo, i quali hanno fatto riguardare Gerberto, oltre che grandemente teoretico, anche un pratico *meccanico.*

Nè troppo peso ci sembra debba attribuirsi all'espressione « si misura » « wird gemessen » in luogo di « io misuro » « ich messe » per negare ogni probabilità « die Möglichkeit » per riconoscerlo quale inventore « ihn selbst als Erfinder anzunehmen ». Conciossiachè non sarebbe avvenuto per la prima volta e nel solo Gerberto, che anche scopritori di nuovi metodi, e veri inventori, da tutti riconosciuti, avessero usato nel descrivere le loro invenzioni, l'impersonale, come fa qui Gerberto, *si misura,* invece del personale « io misuro ». Accadesse ciò per natia modestia, o per intensità di attenzione, tutta rivolta all'obbietto dei loro studi, gli scopritori dimenticavano in certo modo il proprio *io*, non pensando punto ad assicurarsi coll'espressione la gloria di priorità d'una prima invenzione.

Facendo rilevare la debolezza di questi argomenti dell'illustre storico delle matematiche, non intendo io per contrario affermare che la invenzione di quei metodi si debba a Gerberto, e convengo che « werden nicht auf einmal erfunden » non siano stati inventati tutti in un colpo. Egli può benissimo, almeno nel loro germe o sostanza, averli attinti dal « *Codex Acerianus* » sopra ricordato e che molto probabil-

mente Gerberto avrà studiato in quell'anno in cui fu Abbate di Bobbio.

Ciò che per ogni caso è fuor di dubbio si è, che anche a Gerberto nel corso dei suoi studi molte cose nuove alla sua mente, sì acuta e feconda, si presentavano spontanee senza averle prima apprese da altri. Abbiamo infatti al Capo 13 della medesima sua Geometria queste testuali parole: *Sed nequaquam silentio puto transeundum quod interim dum haec scriptitarem ipsa mihi natura obtulit speculandum.*

Ma chi dirà che vi fosse bisogno, ad ogni nuova idea propria, che alla sua mente si presentasse, di dichiararsi così esplicitamente inventore? O se non altro attestare la indipendenza delle sue nuove idee, da quelle di altri?

Ad ogni modo anche là dove Gerberto si vale delle cognizioni altrui, vi lascia l'impronta di tale originalità, da non essere mai un volgare copiatore, come dice lo stesso Cantor: « *Gerbert War kein gewöhnlicher Abschreiber* ». Egli ordinava quello che non era ordinato, suppliva a quello che mancava; a facilitare l'intelligenza della materia inseriva proprie definizioni, nuovi e più esatti termini.

***

Circa i numeri figurati, di cui tratta nei Capitoli 55, 60, 62, della geometria, le cose per lui si passano molto più chiare che non per Epafrodito e Boezio. Gerberto di cotali numeri, sieno triangolari... piramidali, o poligonali qualunque, dà le giuste e generali formole, cosa invece che i due nominati scrittori lasciano pur desiderare.

Abbiamo sopra fatto cenno che nella Geometria di Gerberto, ove si tratta dei triangoli pitagorici ossia rettangoli, si esprimono dei rapporti che il Cantor medesimo chiama meritevoli di osservazione, appunto perchè non rinvenuti in altri scrittori. Per questo motivo noi qui li riferiamo.

Se si attribuiscono ad un cateto i valori

$$3,\ 6,\ 9,\ 12,\ 15,\ 18,\ 21,\ 24, \ldots..$$

e si dividono successivamente tutti i seguenti numeri per il primo, si hanno i quozienti così ordinati:

$$2,\ 3,\ 4,\ 5,\ 6,\ 7, \ldots..$$

Di queste due serie prendiamo come valore dei due cateti di un triangolo rettangolo, i soli numeri pari; si avranno, per ogni successivo triangolo, così formato, le aree

$$6, 24, 54, 96, 150, 216 \ldots\ldots$$

e di nuovo i quozienti

$$4, 9, 16, 25, 36, \ldots\ldots$$

ossia i quadrati dei primi quozienti.

La determinazione dell'area del cerchio è stato sempre uno dei problemi più dibattuti fin dalla più remota antichità [1]. Gerberto ammesso per rapporto della periferia al diametro il valore trovato da Archimede, cioè $\frac{22}{7}$, più tardi designato con π, egli calcola l'area del circolo coll'espressione $\frac{11}{14} D^2$, ove D indica il diametro.

Si riduce facilmente alla nostra moderna

$$\frac{11}{14} D^2 = \frac{44}{14} R^2 = \frac{22}{7} R^2 = \pi R^2,$$

ove R è il raggio, come è evidente.

Istituisce paragone fra l'area del cerchio e quella del quadrato, dell'esagono e dell'ottagono regolare inscritti e circoscritti al cerchio, ed insegna a trovare la trasformazione di varie figure in altre equivalenti.

Mediante l'area del cerchio e semicerchio indica il modo di trovare *approssimativamente* quella d'ogni figura ovale.

In conseguenza del rapporto $\frac{22}{7}$, esprime il volume della sfera colla formola $\frac{11}{21} D^3$, che si riduce facilmente ancor questa alla moderna $\frac{4}{3} \pi R^3$.

---

[1] Si può vedere il lavoro da me stesso pubblicato: « *I tre Problemi classici degli antichi in relazione ai recenti risultati della scienza* - Problema primo - *La quadratura del cerchio* ». Pavia, fratelli Fusi, 1902. — Si trova pure in articoli nella *Rivista di Pavia*, anno 1901 e 1902, vol. IV e V.

Infatti:

$$\frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3} \times \frac{22}{7} \times \left(\frac{D}{2}\right)^3 = \frac{11}{21} D^3 .$$

Trova pure Gerberto che il diametro d'un cerchio inscritto in un triangolo rettangolo è uguale alla somma dei due cateti meno l'ipotenusa. In tal modo noti i lati d'un triangolo pitagorico determina l'area di quel cerchio, ed in pari tempo quella della differenza dell'una e dell'altra.

Problema molto notevole, dice il Cantor, per l'epoca, era quello in cui dati l'area e l'ipotenusa d'un triangolo rettangolo, si domandano i due cateti. Si merita l'attenzione, perchè la sua soluzione dipende da una equazione di 2° grado, equazione incognita a quel tempo; eppure Gerberto s'ingegna a risolverlo.

Non abbiamo, sebbene fuggevolmente, analizzata la Geometria di Gerberto, per invogliare ora altri ad andare a studiare questa scienza in quella di Gerberto quantunque assai interessante ed attraente, massime per le tanto utili applicazioni; ma sotto il rispetto storico, e diciamo: si ricordi che l'occidente mantenne per il tramite di Gerberto le nozioni geometriche. Ecco dove sta l'importanza. Essa sarà sempre preziosissima, perchè c'insegna non solo ciò che per secoli fu conservato dei metodi d'agrimensura, ma riempie una lacuna abbastanza sensibile intorno alla nostra cognizione dei metodi o processi romani.

* * *

Da quanto abbiamo già veduto, Gerberto era non solo geometra ma altresì astronomo, sebbene il suo nome più si faccia appartenere alla storia della matematica, che a quella dell'astronomia. Oltre dell'insegnamento impartito di questa scienza alla scuola di Reims, egli lasciò scritto un trattatello: « *De sphaerae constructione ad Constantinum scholasticum Floriacensem.*

Parimente secondo attesta il Le Beuf, due speciali dissertazioni manoscritte sono conservate nella R. Biblioteca di Parigi nelle quali Gerberto tratta della costruzione dell'astrolabio col titolo: « *Regulae ex libris Ptolomaei Regis de compos. Astrolapsus* ». Cotali manoscritti sono di molta importanza per giudicare delle cognizioni matematiche

ed astronomiche del tempo di Gerberto. È interessante conoscere l'esordio di questo lavoro che dice: « *Quicumque astronomiae peritiam et coelestium sphaerarum geometricaliumque mensurarum altiorem scientiam, diligenti veritatis inquisitione altius mirari conatur et certissimas horologiorum quorumlibetve climatum rationes et quaelibet ad haec pertinentia industrius, discriminare nititur.... astrolapsum solerti indagatione perquirat* ». Lo scritto contiene un capitolo particolare intorno alle denominazioni degli astri e loro costellazioni.

Ma oltre i modi di costruire astrolabi, sfere celesti coll'orizzonte e figure zodiacali, di trovare il meridiano e la circonferenza della terra, insegnò eziandio la maniera di formar orologi solari, in sostanza come oggidì s' insegna nelle nostre scuole mediante il gnomone e la sua ombra.

Ditmaro, poi vescovo di Magdeburgo (¹), per criterio e fedeltà reputato il più commendevole storico di quel tempo, ci fa sapere qualmente Gerberto versatissimo fosse nell'astronomia, e vincesse tutti i suoi contemporanei in assai altre belle cognizioni. Or bene ci narra questo storico che, trovandosi Gerberto a Magdeburgo stesso coll'Imperatore Ottone III, egli costrusse un orologio regolandone il moto dietro la stella polare. « *In Magdeburgo horologium fecit, illud recte constituens, considerata, per fistulam quandam, stella nautarum duce* (²).

Da ciò alcuni dotti arguirono che fin dal secolo X inventasse Gerberto per primo un oriuolo a ruote, e poi ancora un tubo astronomico ossia cannocchiale a lontana vista, ovvero telescopio (³). Ma tanto ci pare venga affermato con poco fondamento.

Circa l'orologio, come si pretende, a ruote, noi diremo che in una sua lettera al monaco Aoda, tratta Gerberto di una specie d'orologio (horologium), ove, a partire dagli equinozii, trovasi indicata la varia-

---

(¹) Thiemtar o Ditmaro morì qual vescovo di Magdeburgo nel 1019. Cfr. WERNER, *Gerbert*, p. 221.

(²) *Chronik*, lib. VI, cap. 61.

(³) Cfr. ROHRBACHER, *St. Univ.*, vol. VII, p. 175. Il BOUILLET nel suo *Dictionnaire Universel d'Histoire* etc., al titolo: *Sylvestre II, Gerbert*, dice: « on lui doit l'invention de l'horloge à balancier ». Il Bzovio poi (op. cit., p. 28) scrive: « Ditmarus, horologium artificiosissimum fecisse, et tubum opticum, *quo a longinquo posita discerneret*, quin etiam stellarum positum ad adiacentia, maculasque solis et lunae dispiceret invenisse memorat ».

Circa la scoperta delle *macchie solari* e della *luna* si possono vedere i due speciali lavori da me pubblicati il primo nei volumi XXIII e XXIV delle Memorie dell'Accademia N. Lincei, il secondo nei volumi I e II della Rivista di Pavia. Si trovano anche separati, vendibili « Deposito libri — Via del Seminario 120 — Roma ».

bile durata del giorno, comparativamente alla durata complementare della notte (1).

Ma qui non apparisce meccanismo alcuno di ruote od altro; laonde, molto probabilmente nella frase generica di Ditmaro, *horologium fecit* si può intendere di un *semplice orologio solare*, trasportabile, che naturalmente colla sua linea meridiana doveva essere orientato, orientazione che si poteva fare benissimo *per fistulam quandam*, osservando cioè per mezzo d'un semplice tubo la stella polare, guida dei naviganti, *nautarum dux*.

Di qui viene anche a cadere l'opinione di coloro che pretesero vedere in cotale tubo una specie di telescopio inventato da Gerberto (1). Ma cotal tubo, come appare dal contesto del riferito passo, non era nè un canocchiale di ravvicinamento, nè un istrumento fornito di vetri. Non era che un semplice *tubo di orientazione* in legno od in metallo, di cui si servivano gli antichi per orientarsi. Drizzato verso quella stella fissa ed immobile, cioè senza l'apparente moto delle altre, poteva restare immobile esso stesso, e indicare sempre il punto *Nord*. Inoltre con tale istrumento si osservava più distintamente l'astro, che per mezzo del tubo veniva così isolato. Ecco tutto il secreto di cotali tubi di osservazione, di cui già parlarono Aristotile, Strabone e sui quali poi tanto si è discusso.

Siamo pur dunque noi ammiratori di Gerberto, lodiamo la sua opera scientifica, ma non siamo ammiratori spinti per attribuirgli invenzioni che non gli spettano, o per lo meno molto dubbie, come questa degli *orologi a ruota* e dei *telescopi!*

***

Non si può certamente disconoscere in Gerberto un certo spirito meccanico per la costruzione di tutti quelli strumenti di cui sopra abbiamo parlato.

Uno scrittore antico poi parla con ammirazione di organi idraulici inventati da Gerberto. Riferisce egli che Gerberto faceva introdurre del vapore acqueo ottenuto dall'acqua in ebullizione, in certi tubi, in maniera da eccitare correnti d'aria atte a produrre dei suoni. Quest'organo trovavasi ancora a Reims due secoli dopo la sua morte.

(1) *Œeuvres de Gerbert* (ediz. Olleris), p. 85.

Si può da questo fatto dedurre, essersi da Gerberto riconosciuta la forza del vapore, ed avere dato insin dal secolo X la prima idea dell'invenzione delle macchine a vapore?

Il prof. Giordano di Napoli nel suo *Trattato di Fisica sperimentale* stampato nel 1867 (¹) ci fa sapere che « *Gerberto*, poscia Papa Silvestro II, *col getto vaporoso uscente da un cannello mosse un orologio ed una macina a polvere* » e che quest'orologio fu conservato a Magdeburgo. Si ha qui forse una specie di clessidra?

A Gerberto fu altresì conferito il soprannome di *musico*, e meritamente, però il *monocordo* non è di prima invenzione di Gerberto, esso ha una priorità ben più antica, anche per il caso che Gerberto l'avesse ideato indipendentemente da sè. E noto infatti come Pitagora pregasse i suoi discepoli d'inscrivere sopra la sua tomba il *monocordo*. Ma pare che neppure a Pitagora spetti la priorità assoluta dell'invenzione di questo musicale istrumento, poichè si hanno indizi che fosse conosciuto ancor prima in Babilonia e presso gli Egizi. Il merito di Gerberto è d'averlo, come pare, introdotto per primo nelle Gallie e nella stessa Roma.

La stessa medicina non gli fu estranea, investigandone i segreti, quanto era per allora permesso. Cita in proposito nelle sue opere Celso, Galeno e Demostene. Delle *Oftalmie* di quest'ultimo abbiamo già veduto farne lui stesso memoria (²). Dava consulti e pareri in materia medica agli amici che ne lo richiedevano, ed al suo stesso maestro Raimondo prescrisse un rimedio contro una morbosa affezione al fegato, ed al vescovo Adalberone di Verdun un altro contro il mal della pietra, e ne sentirono salutare effetto (³).

Gerberto raccolse frutti corrispondenti al suo amore ed alla sua coltura delle scienze e delle arti, superando il suo secolo e per la vastità del suo sapere e per l'applicazione che ne faceva. Era nello stesso tempo versato più d'ogni altro nella Bibbia, nei Padri, nei Ca-

(¹) Napoli. Terza edizione. Vol. I, p. 363. — *Macchine a vapore*, n. 235, Cenno storico della invenzione e dei progressi delle macchine a vapore.

(²) Nella lettera a Gisilberto abbate scrive: « *De morbis ac remediis oculorum*, dicendo: *Demosthenes philosophus librum edidit, qui inscribitur « Ophtalmicus »*. Cfr. Bzovius, op. cit., p. 15.

(³) Hock, op. cit., p. 151.

noni. Ei poteva trarre profitto senza limite da tutti questi tesori nelle applicazioni morali, nelle controversie giuridiche, nella esposizione dei dommi. Trovava sempre gli argomenti più atti a chiarire i passi più oscuri, a conciliare le apparenti antilogie. Esempio di acume ed abilità dialettica anche per le età successive.

Quello insomma che il secolo X sapeva e presentiva, si trovava realizzato in Gerberto. Tutti gl' individuali sforzi dei dotti suoi contemporanei si trovavano come raccolti in Gerberto quasi in loro centro d'unione e perfezione ([1]). Questo « *intelletto gigantesco* » come lo chiama il Prutz, professore all'Università di Königsberg « *che aveva dominata e posseduta l'intiera scienza del suo tempo* » (Op. cit., p. 381), non poteva essere risparmiato dal dente dell'invidia e della calunnia, e Gerberto ebbe i suoi detrattori, come attualmente gli hanno tanti del clero. Soltanto la detrazione cangia forma secondo i tempi. Ora si calunnia il clero come ignorante, oscurantista, nemico della scienza, colla pretesa che ogni ecclesiastico debba essere fisico, matematico, naturalista ecc. Allora si moveva rimprovero a Gerberto contro il suo sapere di queste scienze e contro i suoi studi, come quelli che troppo allontanavano il sacerdote dalla propria missione: « *Studiis saecularibus nimium deditus* »: accusa che non meritava pure risposta. Se a taluno, come a Gerberto, era possibile abbracciare tutto l'umano sapere, aggiungendo ai suoi vasti e profondi studi l'osservanza costante e sollecita dei doveri del proprio stato; soltanto da un invidioso e vil animo poteva venire biasimato.

Più ancora che il rimprovero contro i suoi studi è orribile la calunnia inventata un mezzo secolo più tardi contro Gerberto da uno scrittore scismatico, dal Card. Bennone. Egli voltò a maligna interpretazione il titolo di *mago* dato a Gerberto da alcuni suoi contemporanei, per la scienza e cognizione di tante cose meravigliose, astruse per tanti di loro. Quindi l'appellativo di *mago* non era a lui dato in senso di un commercio qualsiasi coi demoni, ma di sapiente straordinario o prodigioso ([2]). Laonde la pretesa magia di Gerberto, diciamolo col Doellinger, è una favola spacciata sui Papi del medio evo,

([1]) « Pectus suum Bibliothecam omnium scientiarum constituisse scriptores eius temporis testantur ». Bzovio, op. cit., p. 18.

([2]) « Qui non Magus, ut aliquis calumniator finxit, sed summus philosophus ». Bzovio, op. cit., introduz. Ed altrove, a p. 23: « Saeculo autem illo.... qui Mathematicae aut Philosophiae operam daret, a vulgo Magus putabatur ».

al pari di quella della Giovanna Papessa ([1]). Il pseudo-cardinal Bennone giuocando dell'equivoco ne approfittò per iscreditare la S. Sede, quasi fosse stata occupata da un Pontefice che cogli spiriti delle tenebre avesse avuto commercio. Separatosi egli dal grande e santo Pontefice Gregorio VII e perciò dalla Chiesa Romana, studiavasi di rappresentare quest'ultima immeritevole di rispetto e venerazione, come già corrotta in tutte le età e specialmente in quella a cui appartenevano gli educatori di Gregorio, vituperando i più illustri dei suoi predecessori, e segnatamente Silvestro II.

Il Platina, celebre umanista del XV secolo, si fece tosto un merito d'inserire la brutta favola nel suo famoso libro « *De vitis Romanorum Pontificum* ». Non già l'amore di verità, ma lo spirito di vendetta contro Paolo II, per vedersi da questo Papa ricusate le ingiuste sue pretensioni, gli fe' accogliere quella calunniosa leggenda contro Silvestro II, trasportata poi con gusto nei loro *Annali* dai Centuriatori Magdeburgesi, sfatati nelle loro spudorate menzogne dal grande e Ven. Card. Baronio. È consolante che la stessa critica storica dei nostri giorni abbia servito a purgare la fama di un tanto sapiente e glorioso Pontefice, il quale sì copiosa luce di scienza, fede e religione sparse sul mondo, in mezzo al buio d'un secolo, che si volle chiamare di tenebre e di barbarie. Anche allora, specialmente nel nostro Gerberto, come in tanti illustri scienziati dei nostri tempi, si vide armonicamente unirsi in stretto connubio scienza e fede, poichè in qualunque tempo sarà vera la sentenza del Vaticano Concilio che « *nulla unquam inter fidem et rationem, vera dissensio esse potest* ».

([1]) Cfr. DOELLINGER, *Papstfabeln des Mittelalters*. München, 1863.

Padova, Pensionato universitario, 19 marzo 1908.

SULLE

EQUAZIONI IDRODINAMICHE

DI NAVIER

MEMORIA

dell'Ing. PIETRO ALIBRANDI

§ 1. — *Le equazioni dei moti continui e regolari di un liquido.*

1. È noto che Navier, basandosi sulla teoria molecolare, potè stabilire le equazioni che governano i movimenti di un fluido viscoso. Tali equazioni possono venir considerate come un caso particolare di quelle dei moti di un corpo continuo deformabile. Immaginandone isolato un parallelepipedo elementare $dx\,dy\,dz$ col vertice, più vicino all'origine, nel punto $P(x, y, z)$ e chiamando:

ρ la densità in P, ed all'epoca t,

X, Y, Z le componenti dell'accelerazione della forza di massa, secondo i tre assi coordinati ortogonali,

X_x, Y_x, Z_x le componenti della pressione molecolare unitaria esercitata sulla faccia $dy\,dz$ passante per P,

X_y, Y_y, Z_y le analoghe della pressione sulla faccia $dx\,dz$,

X_z, Y_z, Z_z quelle sulla faccia $dx\,dy$;

se si uguagliano le componenti della forza animante il parallelepipedo alla sua massa moltiplicata per le componenti $\dot{u}, \dot{v}, \dot{w}$ dell'accelerazione si ottiene

$$(1) \quad \left\{ \begin{aligned} -\frac{\partial X_x}{\partial x} - \frac{\partial X_y}{\partial y} - \frac{\partial X_z}{\partial z} + \rho X &= \rho\dot{u} \\ -\frac{\partial Y_x}{\partial x} - \frac{\partial Y_y}{\partial y} - \frac{\partial Y_z}{\partial z} + \rho Y &= \rho\dot{v} \\ -\frac{\partial Z_x}{\partial x} - \frac{\partial Z_y}{\partial y} - \frac{\partial Z_z}{\partial z} + \rho Z &= \rho\dot{w}\,. \end{aligned} \right.$$

Le equazioni dei momenti rivelano poi che

$$X_y = Y_x \;,\; X_z = Z_x \;,\; Y_z = Z_y \,.$$

Ora pei liquidi omogenei (dei quali soltanto vagliamo qui occuparci) le ipotesi molecolari conducono ai seguenti valori, dove u, v, w sono le componenti della velocità in P, ed ε una costante, detta *coefficiente d'attrito interno*, però dipendente dalla natura e temperatura del liquido:

$$(2)\quad \begin{cases} X_x = p - 2\varepsilon \dfrac{\partial u}{\partial x} \;,\; X_y = Y_x = -\varepsilon\left(\dfrac{\partial u}{\partial y} + \dfrac{\partial v}{\partial x}\right) \;,\; Y_z = Z_y = -\varepsilon\left(\dfrac{\partial w}{\partial x} + \dfrac{\partial u}{\partial z}\right) \\ Y_y = p - 2\varepsilon \dfrac{\partial v}{\partial y} \;,\; Y_z = Z_y = -\varepsilon\left(\dfrac{\partial v}{\partial z} + \dfrac{\partial w}{\partial y}\right) , \\ Z_z = p - 2\varepsilon \dfrac{\partial w}{\partial z} \;,\; p = \dfrac{X_x + Y_y + Z_z}{3} \end{cases}$$

Sostituiti questi nelle (1) e tenuto conto dell'equazione di continuità

$$(3)\qquad \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \,,$$

ne risultano le equazioni di Navier, vale a dire:

$$(4)\qquad \begin{cases} X - \dfrac{1}{\rho}\dfrac{\partial p}{\partial x} + \dfrac{\varepsilon}{\rho}\Delta_2 u = \dot{u} \\ Y - \dfrac{1}{\rho}\dfrac{\partial p}{\partial y} + \dfrac{\varepsilon}{\rho}\Delta_2 v = \dot{v} \\ Z - \dfrac{1}{\rho}\dfrac{\partial p}{\partial z} + \dfrac{\varepsilon}{\rho}\Delta_2 w = \dot{w} \,. \end{cases}$$

Con $\Delta_2\varphi$ indichiamo il trinomio differenziale

$$\Delta_2\varphi = \frac{\partial^2\varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\varphi}{\partial z^2} \,,$$

essendo φ qualunque.

2. È importante conoscere la pressione che ha luogo sopra un dato elemento superficiale ds, al quale in generale non è normale.

Siano P_x, P_y, P_z le sue componenti. Indicata con n la direzione della normale a ds, risulta agevolmente

$$(5)\quad \begin{cases} P_x = X_x \cos(nx) + X_y \cos(ny) + X_z \cos(nz) \\ P_y = Y_x \cos(nx) + Y_y \cos(ny) + Y_z \cos(nz) \\ P_z = Z_x \cos(nx) + Z_y \cos(ny) + Z_z \cos(nz). \end{cases}$$

Se si prende a considerare un elemento ds di superficie di parete fissa o, più in generale, di superficie sulla quale la velocità deve riuscir tangenziale, si troveranno risultare così le espressioni seguenti:

$$(6)\quad \begin{cases} P_x = p\cos(nx) - \varepsilon \left\{ \frac{\partial u}{\partial x}\cos(nx) + \frac{\partial u}{\partial y}\cos(ny) + \frac{\partial u}{\partial z}\cos(nz) \right\} \\ P_y = p\cos(ny) - \varepsilon \left\{ \frac{\partial v}{\partial x}\cos(nx) + \frac{\partial v}{\partial y}\cos(ny) + \frac{\partial v}{\partial z}\cos(nz) \right\} \\ P_z = p\cos(nz) - \varepsilon \left\{ \frac{\partial w}{\partial x}\cos(nx) + \frac{\partial w}{\partial y}\cos(ny) + \frac{\partial w}{\partial v}\cos(nz) \right\} \end{cases}$$

3. Sulle superficie limiti fisse separanti il corpo liquido da un mezzo supposto immobile la velocità dev'esser tangenziale e debbono aver luogo le seguenti relazioni:

$$(7)\qquad \varepsilon\frac{du}{dn} = Eu \ , \quad \varepsilon\frac{dv}{dn} = Ev \ , \quad \varepsilon\frac{dw}{dn} = Ew \ ,$$

dove E è una nuova costante, il *coefficiente d'attrito esterno,* dipendente non solo dalla natura e temperatura del liquido, ma anche da quella del mezzo esterno confinante.

Sicchè se quest'ultimo non esercitasse azione apprezzabile sul liquido (com'è presso a poco il caso dell'aria) sulla detta superficie sarà:

$$\frac{du}{dn} = 0 \ , \quad \frac{dv}{dn} = 0 \ , \quad \frac{dw}{dn} = 0 \ .$$

In tutto ciò (ripetiamo) si suppone che il mezzo esterno sia immobile. Il Kirchhoff mostrò come le equazioni limiti debbano venir modificate se l'ipotesi non si verifica ([1]). Del resto a noi ciò poco interessa, perchè in pratica le condizioni sulle pareti sono molto più semplici, come ora vedremo.

([1]) KIRCHHOFF, *Vorles. über Math. Ph.*, pag. 371.

§ 2. — *Possibilità dell'integrazione mediante approssimazioni successive.*

4. L'esperienza ha dimostrato che la teoria di Navier si verifica non solo quando la corrente liquida è capillare (esperienze di Poiseuille) cioè quando le sue dimensioni trasversali sono estremamente piccole, ma anche quando, pur essendo tali dimensioni notevoli, i moti però si effettuano abbastanza lentamente e con graduali variazioni da un punto all'altro. In ogni caso il liquido aderisce alle pareti solide, e supponendo queste immobili, od anche dotate in ciascun punto di moderate velocità u_0, v_0, w_0, alla (7) si potranno sostituire le equazioni

$$u = u_0 \ , \ v = v_0 \ , \ w = w_0 \ . \tag{8}$$

Ciò equivale a supporre infinito il coefficiente d'attrito esterno E.

Questa doppia favorevole circostanza, che cioè, quando sono direttamente applicabili le equazioni di Navier a correnti di dimensioni ordinarie, i moti sono lenti e graduali e inoltre nulli i moti relativi sulla parete (e viceversa), ci permette di abbordare agevolmente, sotto il punto di vista teorico e pei casi indicati, l'integrazione delle equazioni, la quale altrimenti sarebbe molto difficile. Notiamo intanto che, essendo dunque u, v, w piccole e varianti gradualmente, ne saranno anche piccole le derivate prime in x, y, z. Trascurando quindi, in una *prima* approssimazione, i prodotti $u \frac{\partial u}{\partial x}$, $v \frac{\partial u}{\partial y}$, ... $w \frac{\partial w}{\partial z}$, riguardabili come piccoli del second'ordine, vedesi che le (4) si riducono a forma più semplice. Ma ci par più opportuno incominciare dal dare una diversa forma alle (4) medesime.

In natura la forza (X, Y, Z) di massa è sempre una attrazione: detto quindi Q il corrispondente potenziale noto, si ha

$$X = \frac{\partial Q}{\partial x} \ , \ Y = \frac{\partial Q}{\partial y} \ , \ Z = \frac{\partial Q}{\partial z} \ .$$

Poi si osservi che, essendo V la velocità assoluta in (x, y, z) ed a t, cioè

$$V = \sqrt{u^2 + v^2 + w^2} \ ,$$

si ha

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial x} + w \frac{\partial w}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \frac{V^2}{2} \ .$$

E d'altra parte noto che i binomii

$$\frac{\partial w}{\partial y}-\frac{\partial v}{\partial z}\,,\ \frac{\partial u}{\partial z}-\frac{\partial w}{\partial x}\,,\ \frac{\partial v}{\partial x}-\frac{\partial u}{\partial y}$$

non sono che le doppie componenti della velocità di rotazione. Chiamando le componenti semplici t_1, t_2, t_3, avremo così senza difficoltà una diversa espressione del trinomio che aggiunto a $\frac{\partial u}{\partial t}$ dà $\dot{u}$, cioè

$$u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}+w\frac{\partial u}{\partial z}=\frac{\partial}{\partial x}\frac{V^2}{2}-2vt_3+2wt_2\,.$$

Parimenti si otterrebbe

$$u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}+w\frac{\partial v}{\partial z}=\frac{\partial}{\partial y}\frac{V^2}{2}-2\,wt_1+2ut_3$$

$$u\frac{\partial w}{\partial x}+v\frac{\partial w}{\partial y}+w\frac{\partial w}{\partial z}=\frac{\partial}{\partial z}\frac{V^2}{2}-2ut_2+2vt_1\,.$$

E ponendo infine

$$Q-\frac{p}{\rho}-\frac{V^2}{2}=\psi\,, \tag{9}$$

giungeremo alle tre nuove forme delle (4):

$$\left\{\begin{aligned}
&\frac{\partial\psi}{\partial x}+\frac{\varepsilon}{\rho}\Delta_2 u-\frac{\partial u}{\partial t}=2\,(wt_2-vt_3)\\
&\frac{\partial\psi}{\partial y}+\frac{\varepsilon}{\rho}\Delta_2 v-\frac{\partial v}{\partial t}=2\,(ut_3-wt_1)\\
&\frac{\partial\psi}{\partial z}+\frac{\varepsilon}{\rho}\Delta_2 w-\frac{\partial w}{\partial t}=2\,(vt_1-ut_2)\,.
\end{aligned}\right. \tag{10}$$

5. Per quanto s'è già detto, i secondi membri sono quantità sesecondarie che da principio si potranno trascurare. Quantità secondaria sarebbe allora anche V^2, ma niun inconveniente sarà non averla riguardata come tale, coll'averla inclusa nella ψ. Sicchè in principio non trascureremo altro che i prodotti della velocità per le rotazioni.

L'integrazione delle (10) col 2° membro nullo, supposta ottenuta, ci fornirà una prima serie di valori per ψ, u, v, w. Si potrà con ciò avere un valore più approssimato che non sia lo zero per ciascuno dei secondi membri delle (10). Integrate a loro volta le equazioni così

risultanti, si potrà pervenire ad una approssimazione ulteriore, e così di seguito. Ad un punto qualunque del procedimento si tratterà di integrare equazioni del tipo

$$
(11)\qquad \begin{cases}
\dfrac{\partial\psi}{\partial x}+\dfrac{\varepsilon}{\rho}\Delta_2 u-\dfrac{\partial u}{\partial t}=\alpha\,, \\[2ex]
\dfrac{\partial\psi}{\partial y}+\dfrac{\varepsilon}{\rho}\Delta_2 v-\dfrac{\partial v}{\partial t}=\beta\,, \\[2ex]
\dfrac{\partial\psi}{\partial z}+\dfrac{\varepsilon}{\rho}\Delta_2 w-\dfrac{\partial w}{\partial t}=\gamma\,,
\end{cases}
$$

nonchè della (3). Nelle (11) α, β, γ sono delle funzioni note di x, y z, t.

§ 3. — *Determinazione del problema.*

6. Supponiamo tracciata, a traverso la massa liquida, una superficie chiusa s tale che durante il movimento essa rimanga sempre riempiuta di liquido, ma del resto arbitraria. Sia K lo spazio contornato da s. Supponiamo di più che sia noto il vettore (u, v, w) in qualsivoglia istante e in qualsivoglia punto di s: infine che il liquido parta dalla quiete, cessata da un'epoca come si voglia remota: od anche, più generalmente, che sia nota (u, v, w) per $t=0$ e per tutti i punti di K. Eventualmente s potrebbe esser la superficie bagnata di un dato recipiente. A rendere s chiusa occorrerà allora immaginare la detta superficie prolungata in modo continuo, ma peraltro arbitrario, a traverso le bocche di entrata e di uscita di cui il recipiente sarà munito.

Posto ciò, io dico che il problema idrodinamico è determinato: e precisamente che le funzioni u, v, w, ψ relative ad ogni dato punto $P(x.\ y, z)$ di K e ad ogni data epoca t, restano univocamente assegnabili mercè la (3) e le (11), in ogni singola approssimazione.

Quest'importante teorema si può dimostrare *ab absurdo* come altri analoghi della Fisica matematica. Ammettiamo infatti che siano possibili due soluzioni distinte: u, v, w, ψ, ed $u+u'$, $v+v'$, $w+w'$, $\psi+\psi'$. Ciascuna di queste quaterne di valori dovendo soddisfare la (3)

e le (11), le differenze corrispondenti u', v', w', ψ' soddisfaranno certamente le seguenti:

$$\frac{\partial u'}{\partial x}+\frac{\partial v'}{\partial y}+\frac{\partial w'}{\partial z}=0 \tag{12}$$

$$\left\{\begin{aligned} &\frac{\partial \psi'}{\partial x}+\frac{\varepsilon}{\rho}\Delta_2 u'-\frac{\partial u'}{\partial t}=0\\ &\frac{\partial \psi'}{\partial y}+\frac{\varepsilon}{\rho}\Delta_2 v'-\frac{\partial v'}{\partial t}=0\\ &\frac{\partial \psi'}{\partial z}+\frac{\varepsilon}{\rho}\Delta_2 w'-\frac{\partial w'}{\partial t}=0\,. \end{aligned}\right. \tag{13}$$

Prendiamo di mira le tre ultime, moltiplichiamole rispettivamente per $u'd\mathrm{K}$, $v'd\mathrm{K}$, $w'd\mathrm{K}$, sommiamole e poi integriamo il risultato estendendo l'integrazione a tutto il volume K. Avremo:

$$\left\{\begin{aligned} &\int\left(u'\frac{\partial \psi'}{\partial x}+v'\frac{\partial \psi'}{\partial y}+w'\frac{\partial \psi'}{\partial z}\right)d\mathrm{K}+\\ &+\frac{\varepsilon}{\rho}\int\left(u'\Delta_2 u'+v'\Delta_2 v'+w'\Delta_2 w'\right)d\mathrm{K}-\\ &-\int\left(u'\frac{\partial u'}{\partial t}+v'\frac{\partial v'}{\partial t}+w'\frac{\partial w'}{\partial t}\right)d\mathrm{K}=0\,. \end{aligned}\right. \tag{14}$$

Ora si ha

$$u'\frac{\partial \psi'}{\partial x}=\frac{\partial\,.\,u'\psi'}{\partial x}-\psi'\frac{\partial u'}{\partial x}\ ,\ \text{ecc.}$$

Di più si troverà facilmente che, detto per compendio

$$\left(\frac{\partial u'}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial u'}{\partial y}\right)^2+\left(\frac{\partial u'}{\partial z}\right)^2=(\mathrm{D}u')^2\ ,\ \text{ecc.,}$$

si ha

$$u'\Delta_2 u'=\Delta_2\frac{u'^2}{2}-(\mathrm{D}u')^2$$

$$v'\Delta_2 v'=\Delta_2\frac{v'^2}{2}-(\mathrm{D}v')^2$$

$$w'\Delta_2 w'=\Delta_2\frac{w'^2}{2}-(\mathrm{D}w')^2\ ;$$

di guisa che, posto inoltre $u'^2 + v'^2 + w'^2 = V'^2$, e tenuto conto di (12), la (14) si trasforma nella

$$\int\left(\frac{\partial\,.\,u'\psi'}{\partial x} + \frac{\partial\,.\,v'\psi'}{\partial y} + \frac{\partial\,.\,w'\psi'}{\partial z}\right)dK + \frac{\varepsilon}{2\rho}\int\Delta_2 V'^2 dK -$$

$$-\frac{\varepsilon}{\rho}\int\left\{(Du')^2 + (Dv')^2 + (Dw')^2\right\}dK - \frac{1}{2}\int\frac{\partial V'^2}{\partial t}dK = 0\,.$$

Adesso dicasi dn un elemento di normale ad s misurata positivamente verso l'interno di K. Allora da noti teoremi geometrici si sa che, per una funzione regolare ω qualunque, sussistono le uguaglianze

$$\int\frac{\partial\omega}{\partial x}dK = -\int\omega\frac{dx}{dn}ds\,,$$

$$\int\Delta_2\omega dK = -\int\frac{d\omega}{dn}ds\,,$$

i secondi membri intendendosi estesi a tutta s. Poi

$$\frac{1}{2}\frac{d\,.\,V'^2}{dn} = V'\frac{dV'}{dn}\,.$$

Dunque risulterà

$$\int\psi'\left(u'\frac{dx}{dn} + v'\frac{dy}{dn} + w'\frac{dz}{dn}\right)ds + \frac{\varepsilon}{\rho}\int V'\frac{dV'}{dn}ds +$$

$$+\frac{\varepsilon}{\rho}\int\left\{(Du')^2 + (Dv')^2 + (Dw')^2\right\}dK + \frac{1}{2}\int V'\frac{\partial\,.\,V'^2}{\partial t}dK = 0\,.$$

Ora su s si ha $u' = v' = w' = V' = 0$, mentre tanto u, v, w, quanto $u + u'$, $v + v'$, $w + w'$ si debbono ridurre corrispondentemente ai medesimi valori dati su s; perciò resta

$$(15)\qquad \frac{\varepsilon}{\rho}\int\left\{(Du')^2 + (Dv')^2 + (Dw')^2\right\}dK + \frac{1}{2}\int\frac{\partial\,.\,V'^2}{\partial t}dK = 0\,.$$

Di qui si vede subito che se u', v', w' fossero variabili quando il moto è permanente — nel qual caso il secondo integrale si annulla — si cadrebbe nell'assurdo che un integrale composto di elementi tutti positivi (mentre $(Du')^2$, ecc. sono somme di quadrati) svanirebbe; sicchè è forza concludere che allora

$$\frac{\partial u'}{\partial x} = 0\,,\quad \frac{\partial u'}{\partial y} = 0\,,\quad \frac{\partial u'}{\partial z} = 0\,,\quad \frac{\partial v'}{\partial x} = 0\,,\quad \text{ecc.,}$$

cioè u', v', w' debbono essere costanti, anzi nulle, perchè tali su s. Ciò essendo, per le (13) sarà anche

$$\frac{\partial\psi'}{\partial x}=\frac{\partial\psi'}{\partial y}=\frac{\partial\psi'}{\partial z}=0\,,$$

cioè anche ψ' costante e quindi, come si scorgerà facilmente, nulla, qualora sia data la pressione in un punto qualunque, per es., preso sul perimetro di una delle bocche di cui è munito il recipiente. Laonde le due soluzioni u, v, w, ψ ed $u+u'$, $v+v'$, $w+w'$, $\psi+\psi'$ non possono differire fra loro.

Ma se il moto non è permanente, dovrebbe esser per (15), il cui primo termine è positivo:

$$\int\frac{\partial\,.\,V'^2}{\partial t}\,dK<0\,, \tag{16}$$

per t qualunque. Ora io dico che questo è impossibile, data l'ipotesi che il moto sia incominciato all'epoca $t=0$ o che, per detta epoca, siano note tutte le velocità, ambedue i casi importando $u'=v'=w'=0$ per $t=0$. Per un dato punto P dello spazio immaginiamo infatti tracciato il diagramma delle V'^2 per tutte le epoche t. La curva si svolgerà evidentemente nel campo delle coordinate positive e passerà per l'origine. Vi sarà dunque necessariamente un tratto, presso l'origine stessa, in cui l'ordinata sarà funzione crescente dell'ascissa: in altri termini dove $\frac{\partial\,.\,V'^2}{\partial t}$ sarà positiva. Ciò dovendo ripetersi per tutti i punti P di K, ne segue che v'ha almeno un intervallo di tempo in cui la (16) non si verifica.

Non resta dunque altro che V' svanisca, ossia $u'=v'=w'=0$.

Come nel moto permanente, ne seguirebbe anche qui

$$\frac{\partial\psi'}{\partial x}=\frac{\partial\psi'}{\partial y}=\frac{\partial\psi'}{\partial z}=0\,,$$

cioè ψ' funzione arbitraria di t. Ma, come sopra, tal funzione non sarà che lo zero, sul che è inutile insistere. Pertanto possiamo sempre concludere che:

Nel moto vario, una quaterna particolare u, v, w, ψ *d'integrali delle* (3) *ed* (11), *ma tali che* u, v, w *prendano valori dati su* s *e valori dati in ciascun punto di* K *per* $t=0$, *è la sola che risolve il pro-*

blema. Nel moto permanente, siccome le condizioni per t = 0 *non influiscono, basta che* u, v, w *prendano valori dati su di* s.

Siccome le dette conclusioni sussistono a qualunque grado siasi giunti di approssimazione, sussistono anche per la soluzione esatta.

§ 4. — *Prima approssimazione.*

7. Prendiamo dunque a considerare le (11) col secondo membro ridotto a zero, nonchè la (3), cioè:

$$(17)\qquad \begin{cases} \frac{\partial\psi}{\partial x} + \frac{\varepsilon}{\rho}\,\Delta_2 u - \frac{\partial u}{\partial t} = 0 \\ \frac{\partial\psi}{\partial y} + \frac{\varepsilon}{\rho}\,\Delta_2 v - \frac{\partial v}{\partial t} = 0 \\ \frac{\partial\psi}{\partial z} + \frac{\varepsilon}{\rho}\,\Delta_2 w - \frac{\partial w}{\partial t} = 0 \end{cases}$$

$$(3)\qquad \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 .$$

La soluzione ne è importante: 1° perchè costituisce il primo passo del procedimento, a cui talora basterà arrestarsi; 2° perchè la principale difficoltà del problema, a qualunque grado d'approssimazione siasi giunti, sta, come vedremo poi, nella soluzione delle equazioni medesime.

Ben s'intende che le proprietà che rileveremo nel presente paragrafo si riferiscono alla soluzione di prima approssimazione.

Incominciamo dal derivare la 1ª delle (17) rispetto ad x, la 2ª ri-rispetto ad y, la 3ª rispetto a z e sommarle.

Ne segue

$$(18)\qquad \Delta_2\psi = 0$$

cioè ψ *è una funzione armonica.*

Derivando invece la 3ª rispetto ad y, la 2ª rispetto a z, sottraendo e rammentando che le semidifferenze

$$(19)\quad \frac{1}{2}\left(\frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z}\right) = t_1 \ ,\ \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x}\right) = t_2 \ ,\ \frac{1}{2}\left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}\right) = t_3$$

sono le componenti della rotazione, si otterrà, dopo invertito opportunamente l'ordine delle derivazioni:

$$(20)\quad \frac{\varepsilon}{\rho}\Delta_2 t_1 - \frac{\partial t_1}{\partial t} = 0\ ,\quad \frac{\varepsilon}{\rho}\Delta_1 t_2 - \frac{\partial t_2}{\partial t} = 0\ ,\quad \frac{\varepsilon}{\rho}\Delta_2 t_3 - \frac{\partial t_3}{\partial t} = 0\ ,$$

le due ultime ricavandosi analogamente. Dunque *le componenti della rotazione soddisfano all'equazione termica di Fourier*, essendo questa notoriamente del tipo comune alle (20).

Alla stessa equazione di Fourier soddisfano poi anche $\Delta_2 u$, $\Delta_2 v$, $\Delta_2 w$, come apparisce subito operando per Δ_2 sulle (17) ed avendo presente (18).

8. Se il moto è permanente, nel qual caso spariscono le derivate parziali rispetto al tempo, si hanno pertanto le notevoli proprietà: 1ª *che* ψ, t_1, t_2, t_3 *sono armoniche*; 2ª *che* u, v, w *sono biarmoniche.*

Che se u, v, w non solo variano gradualmente con x, y, z, ma anche assai lentamente con t, nella prima approssimazione si potranno trascurare anche le derivate rispetto al tempo, e quindi riguardare il moto come permanente ad ogni istante. Le costanti d'integrazione diverranno funzioni di t. In tal caso, volendo procedere ad approssimazioni ulteriori, si porteranno nei secondi membri delle (11) le $\frac{\partial(u, v, w)}{\partial t}$, includendole nelle α, β, γ rispettivamente,

Attesa dunque l'importanza speciale del moto permanente e la sua maggior semplicità, ci fermeremo più particolarmente su di esso. Ed anzitutto mostreremo che la soluzione del problema dipende dalla determinazione di una sola funzione biarmonica e di tre funzioni armoniche.

Riguardiamo infatti per un momento come nota ψ. Allora, indicata con ψ_0 una costante, si può sempre determinare una funzione Ω sì che abbiasi

$$(21)\qquad \psi_0 - \frac{\varepsilon}{\rho}\Delta_2\Omega = \psi\ .$$

Intanto poichè $\Delta_2\psi = 0$, ne segue che, indicata con Δ_4 l'operazione $\Delta_2\Delta_2$:

$$\Delta_4\Omega = 0\ ,$$

e ciò significa che Ω è biarmonica. Ma, chiamando U, V, W tre altre funzioni indeterminate, possiamo liberamente porre

$$(22) \qquad u = \frac{\partial \Omega}{\partial x} + U, \quad v = \frac{\partial \Omega}{\partial y} + V, \quad w = \frac{\partial \Omega}{\partial z} + W.$$

Si sostituiscano tali valori nelle equazioni ridotte del moto permanente, ossia nelle

$$\frac{\partial \psi}{\partial x} + \frac{\varepsilon}{\rho} \Delta_2 u = 0 \text{ , ecc.}$$

Allora le medesime si potranno scrivere

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\psi + \frac{\varepsilon}{\rho}\Delta_2\Omega\right) + \frac{\varepsilon}{\rho}\Delta_2 U = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial y}\left(\psi + \frac{\varepsilon}{\rho}\Delta_2\Omega\right) + \frac{\varepsilon}{\rho}\Delta_2 V = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial z}\left(\psi + \frac{\varepsilon}{\rho}\Delta_2\Omega\right) + \frac{\varepsilon}{\rho}\Delta_2 W = 0$$

delle quali, attesa la (21), resterà soltanto

$$\Delta_2 U = 0, \quad \Delta_2 V = 0, \quad \Delta_2 W = 0.$$

Cioè U, V, W sono armoniche.

Dunque effettivamente *il problema è riducibile alla determinazione di una* Ω *biarmonica e di tre* U, V, W *armoniche.*

Ma la continuità (3) esige che abbia luogo la relazione

$$(23) \qquad \Delta_2\Omega = -\frac{\partial U}{\partial x} - \frac{\partial V}{\partial y} - \frac{\partial W}{\partial z},$$

ovvero

$$\psi = \frac{\varepsilon}{\rho}\left(\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial W}{\partial z}\right) + \psi_0.$$

La rotazione (t_1, t_2, t_3) dipende unicamente da U, V, W. Derivando infatti la 3ª delle (22) rispetto ad y, la 3ª rispetto a z, sottraendo e dividendo per 2, si ottiene la 1ª delle seguenti:

$$t_1 = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial W}{\partial y} - \frac{\partial V}{\partial z}\right), \quad t_2 = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial U}{\partial z} - \frac{\partial W}{\partial x}\right), \quad t_3 = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial V}{\partial x} - \frac{\partial U}{\partial y}\right),$$

delle quali la 2ª e la 3ª risultano allo stesso modo.

9. Tutti i casi particolari sono dunque riducibili alle (21) e (22). Un moto privo di rotazioni ossia *non vorticoso* corrisponde all'ipotesi $U = V = W = 0$. Allora si ha

$$u = \frac{\partial \Omega}{\partial x}, \quad v = \frac{\partial \Omega}{\partial y}, \quad w = \frac{\partial \Omega}{\partial z}, \quad \Delta_2 \Omega = 0;$$
$$\psi = \psi_0 \text{ costante}.$$

Il problema consiste essenzialmente nella determinazione di Ω qui non solo biarmonica, ma anche armonica. Questa coincide allora col noto *potenziale della velocità*. Le linee di corrente tagliano normalmente le superficie $\Omega =$ costante. E la soluzione del problema idrodinamico è allora esatta, in quanto che i secondi membri delle (11) sono rigorosamente nulli. Anzi il moto può essere anche non permanente, ed il processo d'integrazione è il medesimo, sempre nell'ipotesi che u, v, w siano date sul contorno dello spazio entro cui si domandano le circostanze del moto. E qui basta che sia data la componente normale della velocità alla superficie contorno.

Facciamo invece $\Omega = 0$. Allora u, v, w sono armoniche e si ha parimenti $\psi =$ costante. È un caso di moto soltanto vorticoso.

Possiamo in tuttociò ammettere che nelle U, V, W non entrino termini delle forme $\frac{\partial \omega}{\partial x}, \frac{\partial \omega}{\partial y}, \frac{\partial \omega}{\partial z}$, supponendoli eventualmente inclusi nelle derivate di Ω. Infatti una funzione biarmonica non cessa d'esser tale se le venga aggiunta una funzione regolare ω, il cui Δ_2 sia costante.

10. Supponiamo ora $U = V = 0$. Allora per (23) sarà

$$\frac{\partial W}{\partial z} = -\Delta_2 \Omega.$$

Ad evitare un simbolo integrale è più comodo scrivere

$$\Omega = \frac{\partial \varphi}{\partial z},$$

ed allora possiamo porre

$$W = -\Delta_2 \varphi,$$

sicchè si avrà

$$(24) \quad \begin{cases} u = \dfrac{\partial^2 \varphi}{\partial x \, \partial z}, \quad v = \dfrac{\partial^2 \varphi}{\partial y \, \partial z}, \quad w = -\Delta_2 \varphi + \dfrac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = -\dfrac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} - \dfrac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2}, \\ \psi = \psi_0 - \dfrac{\varepsilon}{\rho} \dfrac{\partial}{\partial z} \Delta_2 \varphi . \end{cases}$$

E le funzioni incognite si riducono alla sola φ, biarmonica. Siccome qui

$$\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} = 2\,t_3 = 0\,,$$

l'ipotesi si presta a quei casi dove le linee di corrente sono meridiani di superficie di rotazione e i fenomeni cinetici riescono eguali per tutti i punti di uno stesso parallelo. Infatti allora, assunto l'asse di rotazione per asse coordinato Oz, il vettore rotazione deve risultare dovunque ad esso normale, ed è quindi $t_3 = 0$.

11. Determinata ψ e le u, v, w, si ha subito p mediante la formala (9), cioè:

$$p = \rho\left(Q - \frac{u^2 + v^2 + w^2}{2} - \psi\right) \tag{25}$$

valevole anche nel moto vario.

Ma nel moto permanente ψ determina una quantità importante, cioè il *lavoro degli attriti*.

Sia che si prendano le equazioni approssimate (17), ovvero le esatte (10), moltiplicando la 1ª per u, la 2ª per v, la 3ª per w e addizionando, si avrà

$$u\frac{\partial\psi}{\partial x} + v\frac{\partial\psi}{\partial y} + w\frac{\partial\psi}{\partial z} + \frac{\varepsilon}{\rho}\left(u\,\Delta_2 u + v\,\Delta_2 v + w\,\Delta_2 w\right) = 0\,.$$

Ora si assumano per dx, dy, dz le proiezioni d'un elemento dl di traiettoria; allora si avrà

$$u\frac{\partial\psi}{\partial x} + v\frac{\partial\psi}{\partial y} + w\frac{\partial\psi}{\partial z} = \frac{\partial\psi}{\partial x}\frac{dx}{dt} + \frac{\partial\psi}{\partial y}\frac{dy}{dt} + \frac{\partial\psi}{\partial z}\frac{dz}{dt} = \frac{d\psi}{dt}$$

e ciò a causa della permanenza. Ma $dt = \dfrac{dl}{V}$; quindi possiamo scrivere

$$d\psi + \frac{\varepsilon}{\rho}\,dl\,\frac{u\,\Delta_2 u + v\,\Delta_2 v + w\,\Delta_2 w}{V} = 0\,,$$

e integrando fra due valori l_1 ed l di l misurati quindi sull'arco di traiettoria a partire da un'origine fissa arbitraria, e detti ψ_1 e ψ i valori corrispondenti ad $l = l_1$ ed $l = l$:

$$\psi_1 - \psi = \frac{\varepsilon}{\rho}\int_{l_1}^{l} \frac{u\,\Delta_2 u + v\,\Delta_2 v + w\,\Delta_2 w}{V}\,dl\,. \tag{26}$$

Il secondo membro non è che il lavoro degli attriti lungo il percorso $l - l_1$. Dunque *la differenza tra le ψ corrispondenti ai due estremi, superiore ed inferiore, della stessa traiettoria rappresenta il lavoro effettuato dagli attriti lungo la medesima.*

È notevole il caso in cui l'efflusso abbia luogo da un recipiente molto vasto situato a monte, donde eventualmente partano tubi o canali qualsivogliano. Infatti allora per conoscere la perdita per attriti subita da una molecola qualunque dall'origine del movimento fino alla sua posizione attuale (x, y, z) non occorre conoscere la traiettoria percorsa, mentre ψ_1 (valore di ψ nella regione dove le velocità sono ancora insensibili) ha un valore costante noto. Assunto un piano xz orizzontale, per. es., del pelo libero nel recipiente, si avrà $Q = gy$. La condizione che per $\psi = \psi_1$ la pressione varia idrostaticamente, detta p_0 una costante, darà

$$\psi_1 = gy - \frac{p_0 + \rho g y}{\rho} = - \frac{p_0}{\rho}$$

valor comune per tutte le traiettorie là dove V è infinitesimo. Se $\Delta_2 \Omega$ ivi si annulla, ψ_1 non sarà evidentemente altro che la costante ψ_0 della (21). In quel caso il lavoro λ degli attriti dalla posizione in cui il moto è insensibile fino alla posizione (x, y, z) sarà

$$\lambda = \psi_1 - \psi = \psi_0 - \psi = \frac{\varepsilon}{\rho} \Delta_2 \Omega \,. \tag{27}$$

Passeremo ora a risolvere alcuni problemi semplici, appunto di moto permanente, ma arrestandoci alla prima approssimazione.

§ 5. — *Corrente indefinita investente una sfera fissa.*

12. Abbiasi una corrente liquida dapprima costituita a moto rettilineo orizzontale ed uniforme, ma le cui dimensioni sieno infinite in tutti i sensi. Si immagini poi fissata, in mezzo alle medesima, una sfera solida di raggio a. Si domanda il movimento del liquido, quando sarà divenuto permanente.

È chiaro che a distanza infinita dalla sfera le velocità non possono essere influenzate dalla presenza di questa. ed avranno così il valore comune del vettore w_0 che avevano nella corrente non ancora pertur-

bata. Ma nel presente problema v'ha la favorevole circostanza che la corrente perturbata ha un asse di simmetria Oz, evidentemente parallelo a w_0, tale che la velocità dipende, per ogni data z, dalla sola distanza $\sqrt{x^2+y^2}$ dall'asse: il vettore rotazione (t_1, t_2, t_3) deve risultare dovunque normale ad Oz, di guisa che si avrà $t_3 = 0$. Per tal modo saranno applicabili le formole segnalate al n. 10.

13. Prendiamo l'origine O degli assi al centro della sfera: Oz positivo parallelo ma contrario al vettore w_0; Oy verticale e diretto positivamente dall'alto verso il basso.

È noto che, detta r la distanza del punto (x, y, z) dall'origine O, cioè

$$r = \sqrt{x^2+y^2+z^2}\ ,$$

la funzione $\frac{A}{r}$ è armonica in tutti i punti dello spazio, escluso O; invece Br è biarmonica: A e B sono costanti arbitrarie. Proviamo dunque a prendere

$$\varphi = \frac{A}{r} + Br\,.$$

Derivando rispetto a z otteniamo

$$\frac{\partial \varphi}{\partial z} = -\frac{Az}{r^3} + \frac{Bz}{r}\,. \tag{28}$$

Derivando ora rispetto ad x e ad y avremmo così

$$u = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x\, \partial z} = \frac{3\,Axz}{r^5} - \frac{Bxz}{r^3}$$

$$v = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y\, \partial z} = \frac{3\,Ayz}{r^5} - \frac{Byz}{r^3}\,.$$

Tali espressioni soddisfano intanto alla convergenza all'infinito, cioè alla condizione richiesta, per quanto si è detto in principio, di svanire per $r = \infty$. Ma debbono anche annullarsi sulla superficie della sfera, cioè per $r = a$, mentre attualmente dobbiamo far nulle le u_0, v_0, w_0 delle (8). Ebbene, a ciò basta porre

$$3\,A = Ba^2\,, \quad A = \frac{Ba^2}{3}\,;$$

ed allora avremo

$$u = B\left(a^2 \frac{xz}{r^5} - \frac{xz}{r^3}\right), \quad v = B\left(a^2 \frac{yz}{r^5} - \frac{yz}{r^3}\right).$$

Passiamo ora a w. Siccome $\frac{1}{r}$ è armonica, $\Delta_2\varphi$ si riduce a $B\Delta_2 r$. Ora se ω è funzione di r solamente, si ha

$$\Delta_2\omega = \frac{\partial^2\omega}{\partial r^2} + \frac{2}{r}\frac{\partial\omega}{\partial r}.$$

Fatto qui $\omega = r$, si ha $\Delta_2 r = \frac{2}{r}$; onde $\Delta_2\varphi = \frac{2B}{r}$. Poi, derivando (28) ancora rispetto a z e ponendovi per A il suo valore, abbiamo

$$\frac{\partial^2\varphi}{\partial z^2} = -\frac{a^2 B}{3}\left(\frac{1}{r^3} - \frac{3z^2}{r^5}\right) + B\left(\frac{1}{r} - \frac{z^2}{r^3}\right),$$

e quindi, essendo indifferente l'aggiunta di una costante arbitraria C [1].

$$w = \frac{\partial^2\varphi}{\partial z^2} - \Delta_2\varphi + C$$

$$w = -\frac{a^2 B}{3}\left(\frac{1}{r^3} - \frac{3z^2}{r^5}\right) - B\left(\frac{1}{r} + \frac{z^2}{r^3}\right) + C.$$

Si trae subito

$$C = -w_0,$$

tale dovendo essere il valor di w per $r = \infty$. Ma allora, posto $r = a$, si ha

$$w_{r=a} = -\frac{B}{3a} - \frac{B}{a} - w_0,$$

e questa dovendo annullarsi, si ricava

$$B = \frac{-3aw_0}{4}.$$

---

[1] Questa aggiunta di C equivale ad avere fin da principio assunta per φ la già adottata espressione aumentata del termine biarmonico $-C\frac{x^2+y^2}{4}$.

Abbiamo pertanto esplicitamente

$$(29)\quad \begin{cases} u = \dfrac{3\,aw_0}{4}\left(\dfrac{xz}{r^3} - a^2\,\dfrac{xz}{r^5}\right) \\[2ex] v = \dfrac{3\,aw_0}{4}\left(\dfrac{yz}{r^3} - a^2\,\dfrac{yz}{r^5}\right) \\[2ex] w = \dfrac{a^3 w_0}{4}\left(\dfrac{1}{r^3} - \dfrac{3\,z^2}{r^5}\right) + \dfrac{3\,aw_0}{4}\left(\dfrac{1}{r} + \dfrac{z^2}{r^3}\right) - w_0\,. \end{cases}$$

Se chiamiamo θ l'angolo formato dal raggio vettore r con Oz, troveremo subito che la componente radiale $\sqrt{u^2+v^2}$ della velocità si potrà anche esprimere con

$$\sqrt{u^2+v^2} = \frac{3}{4}\,w_0 \operatorname{sen}\theta \cos\theta\left(\frac{a}{r} - \frac{a^3}{r^3}\right)$$

e la componente longitudinale w con

$$w = \frac{a^3 w_0}{4\,r^3}\left(1 - 3\cos^2\theta\right) + \frac{3\,aw_0}{4\,r}\left(1 + \cos^2\theta\right) - w_0\,.$$

Abbiamo poi

$$\psi = \psi_0 - B\,\frac{\varepsilon}{\rho}\,\Delta_2\,\frac{\partial r}{\partial z} = \psi_0 - B\,\frac{\varepsilon}{\rho}\,\frac{\partial\,.\,\Delta_2 r}{\partial z} = \psi_0 + 2\,B\,\frac{\varepsilon}{\rho}\,\frac{z}{r^3}$$

$$(30)\qquad \psi = \psi_0 - \frac{3\,aw_0\varepsilon}{2\,\rho}\,\frac{z}{r^3} = \psi_0 - \frac{3\,aw_0\varepsilon}{2\,\rho}\,\frac{\cos\theta}{r^2}\,.$$

Ora sia H la profondità di O sotto il pelo libero della corrente, o sotto il piano dove $p = p_0$ pressione atmosferica. Allora possiamo porre

$$Q = g\,(H + y)$$

e per (9) avremo:

$$p = \rho\left\{g\,(H + y) - \frac{V^2}{2} - \psi\right\},$$

ossia, ponendo per ψ il valore testè trovato:

$$p = \rho\left\{g\,(H + y) - \frac{V^2}{2} - \psi_0 + \frac{3\,aw_0\varepsilon}{2\rho}\,\frac{\cos\theta}{r^2}\right\}.$$

Per $r = \infty$ si ha $V^2 = w_0^2$, $p = p_0 + \rho g (H + y)$; onde

$$p_0 = -\rho\left(\frac{w_0^2}{2} + \psi_0\right), \quad \psi_0 = -\frac{p_0}{\rho} - \frac{w_0^2}{2},$$

e finalmente

$$(31) \qquad p = p_0 + \rho\left\{g(H + y) - \frac{V^2 - w_0^2}{2} + \frac{3\,a w_0 \varepsilon}{2\rho}\frac{\cos\theta}{r^2}\right\}.$$

Con la determinazione di u, v, w, p abbiamo risoluto il problema proposto.

14. Vogliamo però risolvere anche un'altra questione. Qual'è la spinta esercitata dalla corrente sulla sfera investita, ovvero qual'è la reazione di questa vsrso la corrente?

Ci basterà trovare la componente $\mathfrak{Z}$ di tale reazione secondo l'asse Oz della corrente. Se S indica la superficie della sfera, è chiaro che

$$\mathfrak{Z} = \int_S P_z\, dS,$$

dove P_z è la quantità espressa dalla 3ª delle (6).

Per $r = a$ è $V = 0$, onde da (31) abbiamo che su di S:

$$p = p_0 + \rho\left\{g(H + y) + \frac{w_0^2}{2} + \frac{3\,w_0\varepsilon}{2\rho}\frac{\cos\theta}{a}\right\}.$$

Ora $\cos(nz) = \frac{z}{a} = \cos\theta$, e possiamo assumere

$$dS = 2\,\pi a^2 \operatorname{sen}\theta d\theta,$$

onde

$$\int_S p\cos(nz)\,dS = 2\,\pi a^2 \int_0^\pi \left\{p_0 + \rho g(H + y) + \frac{\rho w_0^2}{2} + \right.$$
$$\left. + \frac{3\,w_0\varepsilon}{2}\frac{\cos\theta}{a}\right\}\cos\theta \operatorname{sen}\theta\, d\theta.$$

Non dobbiamo occuparci del termine idrostatico $p_0 + \rho g(H + y)$; poi si ha

$$\int_0^\pi \cos\theta \operatorname{sen}\theta\, d\theta = 0, \quad \int_0^\pi \cos^2\theta \operatorname{sen}\theta\, d\theta = \frac{2}{3}.$$

Quindi resta

$$\int_S p \cos (nz)\, dS = 2\, \pi a w_0 \varepsilon\,.$$

Osservato poi che per una sfera di centro O e di raggio r:

$$\cos (nx) = \frac{x}{r}\,, \quad \cos (ny) = \frac{y}{r}\,, \quad \cos (nz) = \frac{z}{r}\,,$$

si avrà

$$\mathfrak{F} = 2\, \pi a w_0 \varepsilon - \varepsilon \int_S \left(\frac{\partial w}{\partial x} \frac{x}{r} + \frac{\partial w}{\partial y} \frac{y}{r} + \frac{\partial w}{\partial z} \frac{z}{r} \right) dS\,.$$

Ora dalla 3ª delle (29) si ricava

$$\frac{\partial w}{\partial x} = \frac{a^3 w_0}{4} \left(- \frac{3\, x}{r^5} + \frac{15\, x z^2}{r^7} \right) + \frac{3\, a w_0}{4} \left(- \frac{x}{r^3} - \frac{3\, x z^2}{r^5} \right),$$

$\frac{\partial w}{\partial y}$ = la stessa, ma cambiata x in y,

$$\frac{\partial w}{\partial z} = \frac{a^3 w_0}{4} \left(- \frac{3\, z}{r^5} + \frac{15\, z^3}{r^7} - \frac{6\, z}{r^5} \right) + \frac{3\, a w_0}{4} \left(- \frac{z}{r^3} - \frac{3\, z^3}{r^5} + \frac{2 z}{r^3} \right).$$

Moltiplicandole per $\frac{x}{r}, \frac{y}{r}, \frac{z}{r}$ rispettivamente, sommandole e facendo le riduzioni, si otterrà per risultato:

$$- \frac{3\, w_0}{2\, a} \left(1 - \frac{z^2}{a} \right) = - \frac{3\, w_0}{2\, a} \operatorname{sen}^2 \theta\,.$$

Laonde sostituendo si avrà

$$\mathfrak{F} = 2\, \pi a w_0 \varepsilon + 3\, \pi a w_0 \varepsilon \int_0^\pi \operatorname{sen}^3 \theta\, d\theta$$

e finalmente

$$\mathfrak{F} = 6\, \pi a w_0 \varepsilon\,.$$

Ossia la spinta della corrente verso la sfera è

$$- \mathfrak{F} = - 6\, \pi a w_0 \varepsilon \quad (^1).$$

---

(1) Soltanto dopo ottenuti i precedenti risultati ho appreso che l' Oberbeck aveva risolto il problema del presente paragrafo, anzi il problema più generale per un'ellissoide

15. Questo risultato conduce ad alcune conseguenze degne d'attenzione. Facciamo astrazione dalla forza X, Y, Z e supponiamo una sfera che cada a traverso al mezzo fluido per sè immobile. Detta ρ_1 la densità della sfera, il suo peso G sarà $\frac{2}{3}\pi a^3\rho_1 g$. Dopo un certo periodo d'accelerazione, la sua velocità di discesa si avvicinerà al limite costante w_0 dato dall'equazione $G = \mathfrak{F}$, ossia da

$$\frac{4}{3}\pi a^3\rho_1 g = 6\,\pi a w_0 \varepsilon\,,$$

cioè al limite

$$w_0 = \frac{2}{9}\frac{a^2\rho_1 g}{\varepsilon}, \tag{32}$$

giacchè il risultato è lo stesso, sia che la velocità primitiva del fluido sia finita e nulla quella della sfera, sia nell'ipotesi inversa.

Quindi, se a fosse infinitesima, w_0 sarebbe parimenti infinitesima, ma di second'ordine.

---

a tre assi disuguali $2a$, $2b$, $2c$, nell'ipotesi di un moto dove le accelerazioni sieno nulle, o meglio trascurabili (*Giorn. di Crelle*, vol. 81, pag. 62). Con mia soddisfazione ho riscontrato che i valori qui sopra ottenuti per u, v, w, p, $\mathfrak{F}$ sono gli stessi forniti dalle formole dell' Oberbeck (dove però si fa astrazione anche della gravità) per $a = b = c$. Detti A, E, Q_0 certi integrali dipendenti da a, b, c egli trova:

$$\mathfrak{F} = \frac{8\pi\varepsilon w_0 E}{Q_0 + Aa^2}.$$

Per un'ellissoide ovario ($b = c$), posto $e = \sqrt{a^2 - b^2}$ si ha semplicemente:

$$A = \frac{4\pi ab^2}{e^3}\left(\frac{1}{2}\,lg\,\frac{a+e}{a-e} - \frac{e}{a}\right)$$

$$E = 4\pi ab^2$$

$$Q_0 = \frac{2\pi ab^2}{e}\,lg\,\frac{a+e}{a-e}.$$

Per $e = 0$ (caso della sfera) A e Q_0 prendono forme indeterminate. Ma se si sostituisce pel logaritmo il suo valore in serie

$$lg\,\frac{a+e}{a-e} = \frac{2e}{a}\left\{1 + \frac{1}{3}\left(\frac{e}{a}\right)^2 + \frac{1}{5}\left(\frac{e}{a}\right)^4 + \dots\right\},$$

si fanno le riduzioni e in fine si pone $e = 0$, si troverà

$$A = \frac{4\pi}{3}, \quad E = 4\pi a^3, \quad Q_0 = 4\pi a^2,$$

donde risulta appunto la $\mathfrak{F}$ da noi calcolata.

Ciò spiega abbastanza, s'io non erro, l'estrema lentezza di discesa nell'aria delle goccioline minutissime onde sono composte le nubi ed i vapori nello stadio di liquefazione, senza dover ricorrere alla molto dubbia teoria dello *stato vescicolare*, lentezza che, al senso, è una vera immobilità. Qui il fluido ambiente è l'aria e la sfera è acquea. Ma è chiaro che per moti assai tenui i gas si comportano come fluidi incompressibili, e quindi la teoria precedente vale anche per l'aria.

Ora dalle esperienze di Couette risulterebbe che per l'aria a 20° e per l'ordinaria pressione atmosferica

$$\varepsilon = 0{,}0000018 .$$

Sostituendo nella (32) tal numero insieme a $\rho_1 g = 1000$, peso unitario dell'acqua, ne risulta

$$w_0 = 123333000 \, . \, a^2 .$$

Facciamo di 1 *micron* il diametro della sfera, cioè $a = 0{,}0000005$; se ne ha

$$w_0 = 0{,}000031 .$$

In altre parole, la gocciolina impiegherebbe circa *nove ore* a calare di un metro nell'aria tranquilla.

Così basterebbe una debolissima corrente ascendente, a provocare la quale sarebbe sufficiente una piccola eccedenza della temperatura della stilla su quella dell'aria circostante, per sollevare quella o per mantenerla immobile.

Risultati incomparabilmente differenti emergerebbero dalla formola ordinaria, valevole soltanto per forti velocità, la quale fa la resistenza proporzionale al quadrato della velocità w_0 ed al quadrato del raggio a. Da detta formola si avrebbe

$$\mathfrak{F} = m\pi a^2 w_0{}^2 .$$

Assunto pure il più alto valore di m, qual'è dato dalle esperienze relative a corpi sferici, cioè $m = 0{,}05$, si avrebbe nel nostro caso:

$$\frac{4}{3} \pi a^3 \rho_1 g = 0{,}05 \, \pi a^2 w_0{}^2 ,$$

donde

$$w_0 = \sqrt{26{,}67 \, a \rho_1 g} .$$

Fatto, come sopra, $a = 0,0000005$, $\rho_1 g = 1000$, se ne trae $w_0 = 0,1153$, più di 3700 volte maggiore della w_0 calcolata col nostro metodo. La gocciolina percorrerebbe 1 m. in 9 secondi. Così, con l'ordinaria formola, occorrerebbe supporla immensamente più piccola onde poter spiegare l'estrema lentezza di discesa.

In pari modo delle stille infinitesime si rende conto come per tempo lunghissimo possano restar sospesi i pulviscoli atmosferici. Ed a più forte ragione si manterranno sospese in un liquido polveri estremamente divise, mentre la ε corrispondente è assai maggiore di quella propria dell'aria, ed il peso di ciascun corpuscolo cadente va diminuito del peso d'un ugual volume liquido.

Abbiamo detto che la legge ordinaria di resistenza (proporzionale a w_0^2) è vera soltanto per forti velocità. E invero ciò risulta dal semplice fatto che per moti lenti le formole di Navier sono certamente valide. Conseguendo da queste una legge diversa, l'altra non può esser vera se non a condizione che w_0 superi un certo limite finito.

§ 6. — *Efflusso da un recipiente ridotto ad un semispazio.*

16. Immaginiamo ora un recipiente esteso a tutto il semispazio infinito luogo dei punti di coordinata z negativa, e quindi limitata dal piano xy. Funga questo piano da parete, sulla quale siano aperte una o più bocche di efflusso. Supporremo conosciute le velocità sulle aree piane di queste. Con ciò conosceremo u, v, w su tutti i punti del piano xy, mentre le medesime, fuori delle aree delle bocche, sono nulle. Si vogliono conoscere le circostanze del moto, supposto giunto a regime permanente, in un punto qualunque (x, y, z) del liquido a monte delle bocche.

Torniamo alle formole del n. 8 e consideriamo la funzione

$$\Omega = z\varphi$$

con φ armonica. Si ha

$$\frac{\partial^2\Omega}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\Omega}{\partial y^2} = z\left(\frac{\partial^2\varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\varphi}{\partial y^2}\right)$$

$$\frac{\partial\Omega}{\partial z} = \varphi + z\frac{\partial\varphi}{\partial z}$$

$$\frac{\partial^2\Omega}{\partial z^2} = 2\frac{\partial\varphi}{\partial z} + z\frac{\partial^2\varphi}{\partial z^2}.$$

Addizionando la 1ª e la 3ª avremo

$$\Delta_2 \Omega = z\, \Delta_2 \varphi + 2 \frac{\partial \varphi}{\partial z} ;$$

ma $\Delta_2 \varphi = 0$; dunque resta

$$\Delta_2 \Omega = 2 \frac{\partial \varphi}{\partial z} . \tag{33}$$

E di qui, operando nuovamente per Δ_2 :

$$\Delta_4 \Omega = \Delta_2 \left(2 \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right) = 2 \frac{\partial \, . \, \Delta_2 \varphi}{\partial z} = 0 .$$

Così Ω è biarmonica.

Abbiamo dunque, per le (22), una soluzione possibile nelle

$$u = \mathrm{U} + \frac{\partial \, . \, z\varphi}{\partial x} , \quad v = \mathrm{V} + \frac{\partial \, . \, z\varphi}{\partial y} , \quad w = \mathrm{W} + \frac{\partial \, . \, z\varphi}{\partial z} .$$

Scindiamo W nella differenza $\mathrm{W} = \mathrm{W}' - \varphi$ con W′ conseguentemente armonica. E poichè

$$\frac{\partial \, . \, z\varphi}{\partial z} - \varphi = z \frac{\partial \varphi}{\partial z} ,$$

potremo anche scrivere

$$u = \mathrm{U} + z \frac{\partial \varphi}{\partial x} , \quad v = \mathrm{V} + z \frac{\partial \varphi}{\partial y} , \quad w = \mathrm{W}' + z \frac{\partial \varphi}{\partial z} . \tag{34}$$

Ma per (23) φ dovrà esser tale che

$$\Delta_2 (z\varphi) = - \frac{\partial \mathrm{U}}{\partial x} - \frac{\partial \mathrm{V}}{\partial y} - \frac{\partial \mathrm{W}'}{\partial z} + \frac{\partial \varphi}{\partial z} ,$$

ovvero, posto pel 1° membro il valore (33):

$$\frac{\partial \varphi}{\partial z} = - \frac{\partial \mathrm{U}}{\partial x} - \frac{\partial \mathrm{V}}{\partial y} - \frac{\partial \mathrm{W}'}{\partial z} . \tag{35}$$

Ora qui U, V, W′ possono venir determinate a parte dalle condizioni sul contorno, e subito dopo di esse φ mercè l'ultima equazione.

È noto infatti che un *potenziale di semplice strato* disteso sulla superficie s terminante un dato volume K è funzione armonica per tutti

i punti di K; potenziale che è una generalizzazione della funzione $\frac{A}{r}$

Siano ξ, η, ζ le coordinate di un punto (potenziante) Q di s ed x, y, z le coordinate del punto (potenziato) P di K. Detta f una funzione arbitraria (*densità dell'elemento* ds *di centro* Q) di ξ, η, ζ ed r la distanza $r = \sqrt{(\xi - x)^2 + (y - \eta)^2 + (z - \zeta)^2}$ fra P e Q, il potenziale è

$$\int \frac{f(\xi, \eta, \zeta)\, ds}{r}$$

esteso a tutta s. Ma quando s è il piano xy (cioè quando K è il semispazio qui considerato) si ha la notevole proprietà che

$$\frac{1}{2\pi} \frac{\partial}{\partial z} \int \frac{f(\xi, \eta)\, ds}{r} = f(x, y) \quad \text{per } z = 0,$$

assunto Oz positivo verso l'esterno del semispazio.

Ora riprendiamo le (36) ed osserviamo che per $z = 0$ si riducono a

$$u = U, \qquad v = V, \qquad w = W'.$$

Dunque, essendo dati i valori u_0, v_0, w_0 di u, v, w per $z = 0$, si avrà subito

$$U = \frac{1}{2\pi} \frac{\partial}{\partial z} \int \frac{u_0 ds}{r}, \quad V = \frac{1}{2\pi} \frac{\partial}{\partial z} \int \frac{v_0 ds}{r}, \quad W' = \frac{1}{2\pi} \frac{\partial}{\partial z} \int \frac{w_0 ds}{r},$$

mentre esse sono armoniche e si riducono rispettivamente ad u_0, v_0, w_0 in superficie, come dev'essere.

Affinchè ora resti soddisfatta (35) vedesi che basta porre

$$\varphi = \frac{-1}{2\pi} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \int \frac{u_0 ds}{r} + \frac{\partial}{\partial y} \int \frac{v_0 ds}{r} + \frac{\partial}{\partial z} \int \frac{w_0 ds}{r} \right\}.$$

Gl'integrali s'intendono estesi a tutti gli elementi superficiali ds del piano xy; ma sarebbe inutile estenderli fuori dell'area, semplice o composta, della bocca di efflusso, mentre sulla parte impermeabile di xy è $u_0 = v_0 = w_0 = 0$.

Con ciò tutto è determinato, mentre risulta anche soddisfatta l'altra condizione richiesta della convergenza all'infinito di u, v, w, nonchè della parte non idrostatica della p.

Per (21), ecc. abbiamo

$$\psi = \psi_0 - \frac{\varepsilon}{\rho} \Delta_2 (z\varphi) = \frac{-p_0}{\rho} - 2 \frac{\varepsilon}{\rho} \frac{\partial \varphi}{\partial z},$$

cioè

$$\psi = \frac{\varepsilon}{\pi\rho}\left\{\frac{\partial^2}{\partial x\,\partial z}\int\frac{u_0 ds}{r} + \frac{\partial^2}{\partial y\,\partial z}\int\frac{v_0 ds}{r} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}\int\frac{w_0 ds}{r}\right\} - \frac{p_0}{\rho}.$$

Qui, per fissare le idee, supponiamo xy verticale ed assumiamo Oy verticale e diretta positivamente verso il basso. Ad ottenere p non si avrà che sostituire la ψ trovata nella

$$p = \rho\left\{g(\mathrm{H}+y) - \frac{u^2+v^2+w^2}{2} - \psi\right\}.$$

dove con H è indicata l'altezza di cui al n. 12.

L'espressione di ψ vale per tutti i punti del semispazio. Ma facciamovi $z=0$. Allora sappiamo che

$$\frac{1}{2\pi}\frac{\partial^2}{\partial x\,\partial z}\int\frac{u_0 ds}{r} = \frac{\partial u_0}{\partial x}, \qquad \frac{1}{2\pi}\frac{\partial^2}{\partial y\,\partial z}\int\frac{v_0 ds}{r} = \frac{\partial v_0}{\partial y}.$$

Quindi

$$\psi_{z=0} = \frac{2\varepsilon}{\rho}\left\{\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{1}{2\pi}\frac{\partial^2}{\partial z^2}\int\frac{w_0 ds}{r}\right\}_{z=0} - \frac{p_0}{\rho}.$$

Finchè il punto (x, y, z) è fuori dell'area della bocca, si ha

$$\frac{\partial^2}{\partial z^2}\int\frac{w_0 ds}{r} = \int\left(\frac{3z^2}{r^5} - \frac{1}{r^3}\right) w_0 ds.$$

Il valore assunto sulla parete si ottiene facendo qui $z=0$. Ma ivi è anche $u=0$, $v=0$; dunque:

$$\psi = \frac{-\varepsilon}{\pi\rho}\int\frac{w_0 ds}{r^3} - \frac{p_0}{\rho} \quad \text{(sulla parete).}$$

Onde ivi è

$$p = p_0 + \rho g(\mathrm{H}+y) + \frac{\varepsilon}{\pi}\int\frac{w_0 ds}{r^3}. \tag{36}$$

17. In atto pratico le formole precedenti sono semplificabili. Si osservi infatti che, sulle aree delle bocche, u e v sono dove positive, dove negative: in una bocca unica avente due assi ortogonali di simmetria ogni u ed ogni v ha la sua uguale ed opposta, sicchè il loro valore medio è zero. Di più, siccome sul perimetro le velocità hanno

valori nulli, e valor nullo la velocità deve avere anche in un punto interno (nel centro di figura se la bocca è unica e dotata, come sopra, di simmetria) è chiaro che in tutta l'estensione dell'area u, v debbono aver valori assai piccoli. Per tali ragioni possiamo ritener trascurabili gl'integrali U, V. E resterà semplicemente

$$\varphi = -W' = \frac{-1}{2\pi}\frac{\partial}{\partial z}\int\frac{w_0 ds}{r},$$

$$(37)\quad \begin{cases} u = \dfrac{-z}{2\pi}\dfrac{\partial^2}{\partial x\,\partial z}\displaystyle\int\frac{w_0 ds}{r}, \quad v = \dfrac{-z}{2\pi}\dfrac{\partial^2}{\partial y\,\partial z}\displaystyle\int\frac{w_0 ds}{r}, \\ w = \dfrac{-z}{2\pi}\dfrac{\partial^2}{\partial z^2}\displaystyle\int\frac{w_0 ds}{r} + \dfrac{1}{2\pi}\dfrac{\partial}{\partial z}\displaystyle\int\frac{w_0 ds}{r}, \end{cases}$$

$$\psi = -2\varepsilon\frac{\partial\varphi}{\partial z} + \psi_0 = \frac{\varepsilon}{\pi}\frac{\partial^2}{\partial z^2}\int\frac{w_2 ds}{r} - \frac{p_0}{\rho}.$$

18. L'ipotesi $u_0 = v_0 = 0$ diviene poi rigorosa se supponiamo di avere una bocca a di dimensioni infinitesime, o, ciò che è lo stesso, se ci limitiamo a determinare u, v, w, p per punti $P(x, y, z)$ distantissimi dallo sbocco. Questo caso limite è molto opportuno a mettere in vista i caratteri più salienti dei risultati ottenuti. Allora alle distanze r dei singoli elementi da da $P(x, y, z)$ si potrà sostituire in comune la distanza di P dal centro O (assunto come origine) di superficie di a, Dettane q la portata, la quale non è altro che

$$q = \int w_0 ds,$$

si potrà porre

$$\int\frac{w_0 ds}{r} = \frac{q}{r}.$$

E si avrà

$$\frac{\partial}{\partial z}\frac{q}{r} = q\frac{\partial\frac{1}{r}}{\partial z} = -\frac{qz}{r^3}$$

$$\frac{\partial^2}{\partial x\,\partial z}\frac{q}{r} = \frac{3\,qxz}{r^5}, \quad \frac{\partial^2}{\partial y\,\partial z}\frac{q}{r} = \frac{3\,qyz}{r^5},$$

$$\frac{\partial^2}{\partial z^2}\frac{q}{r} = q\left(\frac{3\,z^2}{r^5} - \frac{1}{r^3}\right).$$

Laonde semplicemente

$$u = \frac{-3\,q}{2\,\pi}\,\frac{xz^2}{r^5}\,, \quad v = \frac{-3\,q}{2\,\pi}\,\frac{yz^2}{r^5}\,, \quad w = \frac{-3\,q}{2\,\pi}\,\frac{z^3}{r^5}\,.$$

Dal che vedesi che la velocità assoluta V è diretta verso il centro O, mentre $u : v : w = x : y : z$, e si ha

$$V = \sqrt{u^2 + v^2 = w^2} = \frac{3\,qz^2}{2\,\pi\,r^4}\,;$$

ovvero, detto θ l'angolo formato dal raggio vettore Or con Oz:

$$V = \frac{3\,q}{2\,\pi\,r^2}\cos^2\theta\,.$$

Per una data r le V variano dunque fra un minimo $V = 0$ sulla parete, ed un massimo

$$V = \frac{3\,q}{2\,\pi\,r^2}$$

sulla normale Oz. Il valor medio risulta

$$V = \frac{q}{2\,\pi\,r^2}\,,$$

com'era da prevedere per la continuità, giacchè il medesimo deve risultare uguale a q divisa per la superficie emisferica di raggio r.

Le V assumono il valor medio sul cono avente per semiangolo al vertice il valore

$$\text{ar}\cos\sqrt{\frac{1}{3}} = 54^\circ\,44'\,.$$

E le esperienze dimostrano appunto che le V hanno valori insensibili fuori di un certo cono avente al vertice un angolo ottuso bensì, ma apprezzabilmente minore di 180°. Invece la teoria dell'efflusso basata sull'ipotesi dell'esistenza di un potenziale di velocità assume tutte uguali fra loro le V dei punti equidistanti da O, quando a è estremamente piccola o quando le r sono grandissime [1].

---

[1] Cfr. BOUSSINESQ, *Essai sur la théorie des eaux courantes*, pag. 536. — È probabile però che l'efflusso per carichi notevoli si stabilisca con leggi intermedie fra quelle

Quanto a ψ e p, attualmente abbiamo

$$\psi = \frac{-\varepsilon q}{\rho\pi}\left(\frac{1}{r^3} - \frac{3 z^2}{r^5}\right) - \frac{p_0}{\rho}$$

$$p = p_0 + \rho g (H + y) - \rho \frac{V^2}{2} + \frac{\varepsilon q}{\pi}\left(\frac{1}{r^3} - \frac{3 z^2}{r^5}\right)$$

od anche

$$\psi = \frac{-\varepsilon q}{\rho\pi\, r^3}(1 - 3\cos^2\theta) - \frac{p_0}{\rho}$$

$$p = p_0 + \rho g (H + y) - \rho \frac{V^2}{2} + \frac{\varepsilon q}{r^3}(1 - 3\cos^2\theta)\,,$$

e sulla parete

$$p = p_0 + \rho g (H + y) - \frac{\varepsilon q}{r^3}$$

Il che mostra che ivi p è minore della pressione idrostatica, sebbene vi sia nulla la velocità.

Queste formole valgono per P comunque situato nel semispazio, fuori che sull'area infinitesima a della bocca.

---

desunte dall'ipotesi del potenziale di velocità e quelle da noi qui trovate. Avvertiremo poi che là dove le velocità sono forti l'esperienza dimostra che oltre al moto traslatorio — il solo interessante in pratica e rilevabile sia complessivamente con le misure di portata, sia localmente cogli ordinari tachimetri — ha luogo un'agitazione od un moto intestino. E in tal caso le formole di Navier non valgono, se applicate ai moti puramente traslatorii. In altra mia memoria (*Sugli attriti dei liquidi in movimento*, Ann. della Soc. degl' Ing. ed Arch. it., a. 1907) espressi la convinzione che le equazioni di Navier valgano, entro limiti più estesi che generalmente non si reputi, pei moti reali, e che questi risultino differenti dai loro termini soltanto traslatorii quando le molecole a contatto con le pareti vi scorrano ropra, ciò che, data la natura non mai perfettamente omogenea e regolare delle pareti, deve necessariamente accadere con spostamenti intermittenti e saltuarii, anche su pareti liscie e nel moto così detto permanente. E infatti basta un breve esame a persuadersi che se u, v, w sono funzioni del tempo sul contorno, saranno parimenti — e p con esse — funzioni del tempo in tutti i punti interni. Così è che in un tubo di condotta *l'agitazione interna dipende dall'agitazione sulla parete*, agitazione praticamente inseparabile dallo scorrimento delle molecole contigue. Se queste restano immobili, non v'ha agitazione in tutto il resto, cioè i moti reali non sono cosa diversa dai moti traslatorii.

§ 7. – *Sulla meccanica della lubrificazione.*

19. Un altro problema importante e pel quale mi sembra assai adatto il nostro procedimento, talora limitato alla prima approssimazione soltanto, è quello della lubrificazione, ossia della dinamica d'un liquido viscoso interposto fra corpi solidi destinati ad avere velocità relative finite, come interviene nelle macchine. Generalmente accade che le velocità sono notevoli: nondimeno il caso non oltrepassa il campo entro cui le equazioni di Navier sono valide, e ciò per un favorevole concorso di circostanze, cioè che le dimensioni trasversali delle lamine liquide da considerare sono tenui, mentre poi il coefficiente d'attrito interno ε è elevato e nello stesso tempo piccola la densità ρ. Infatti dalle esperienze di Osborne Reynolds e di Couette emerge che la velocità media limite ν, oltre la quale i moti divengono agitati, cresce inversamente alle dimensioni trasversali e inoltre è proporzionale al rapporto $\frac{\varepsilon}{\rho}$. Per una temperatura di 10° e per un tubo di diametro D ove scorre l'acqua si trovò esser circa

$$\nu = \frac{0,03}{D},$$

sicchè per $D = 0^m,001$ si ha $\nu = 30^m$. Ma per un liquido 20 volte più viscoso e di peso specifico 1, ν può essere portata a 600^m al secondo, e tuttavia le formole di Navier sono valide. Che anzi gli olii lubrificanti hanno una ε *al minimo* uguale a 20 volte la ε dell'acqua e peso specifico < 1, sicchè ν risulta di fatto anche maggiore [1].

Quando il moto fosse uniforme e rettilineo secondo una data direzione Ox, è poi chiaro che il nostro metodo conduce senz'altro alla

---

[1] La ε degli olii lubrificanti di discreta viscosità è da 20 a 30 volte quello dell'acqua. Per questa ultima si ha la seguente espressione in funzione della temperatura centigrada T (compresa fra 0^0 e 50^0):

$$\varepsilon = \frac{0.0000001815 \cdot \rho g}{1 + 0,03367\,T + 0,000221\,T^2},$$

talchè diminuisce abbastanza rapidamente con T. Per $T = 0$ si ha $\varepsilon = 0,0001815$, per $T = 50^0$ è $\varepsilon = 0,000056$. — Pare che un simile decremento si verifichi per tutti i liquidi, sicchè il riscaldamento dei perni è un inconveniente anche sotto questo punto di vista, come si vedrà fra poco.

soluzione rigorosa, qualunque sieno le velocità, perchè allora la prima delle (10), che è la sola occorrente, coincide esattamente con la corrispondente ridotta (1ª delle (17)), mentre $v = w = 0$. Sicchè il metodo delle approssimazioni è conveniente quando il moto poco differisce dall'uniforme, tuttochè rapido.

20. Ci limiteremo a considerare il caso seguente. Un perno cilindrico di raggio r_0 ruota con velocità periferica costante V_0 entro una cavità cilindrica concentrica o cuscinetto immobile di raggio r_1. Lo spazio annulare contiene un liquido lubrificante. Se ne cerca il moto.

Supposti i cilindri indefiniti nel senso delle generatrici, assunto per Oz l'asse comune, avremo $w = 0$. Posto poi $\sqrt{x^2 + y^2} = r$, le funzioni

$$u = -y\left(\frac{A}{r^2} + B\right), \qquad v = x\left(\frac{A}{r^2} + B\right)$$

sono armoniche, come si vedrà agevolmente. E siccome

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{2Axy}{r^4}, \qquad \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{2Axy}{r^4},$$

soddisfano alla condizione

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 .$$

Per l'aderenza dobbiamo avere: 1°: $u = v = 0$ per $r = r_1$: dunque

$$\frac{A}{r_1^2} + B = 0 ;$$

2°: $\sqrt{u^2 + v^2} = V_0$ per $r = r_0$, e quindi

$$r_0\left(\frac{A}{r_0^2} + B\right) = \frac{A}{r_0} + Br_0 = V_0 .$$

Dalle quali si deduce

$$A = \frac{V_0 r_0 r_1^2}{r_1^2 - r_0^2}, \qquad B = \frac{-V_0 r_0}{r_1^2 - r_0^2} .$$

Dunque effettivamente le sopra date u e v sono le componenti della velocità nel presente caso, nel quale quindi si ha $\Omega = 0$ (v. n. 9). Ed esplicitamente

$$u = \frac{-V_0 r_0 y}{r_1^2 - r_0^2}\left(\frac{r_1^2}{r^2} - 1\right), \qquad v = \frac{V_0 r_0 x}{r_1^2 - r_0^2}\left(\frac{r_1^2}{r^2} - 1\right).$$

Le linee di corrente sono circoli conassici e la velocità assoluta in un punto qualunque è

$$\sqrt{u^2+v^2} = \frac{V_0 r_0}{r_1^2 - r_0^2}\left(\frac{r_1^2}{r} - r\right).$$

Abbiamo qui un esempio dove il vettore rotazione è una costante. Si ha infatti

$$t_1 = t_2 = 0\,, \qquad t_3 = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}\right),$$

$$\frac{\partial v}{\partial x} = \frac{A}{r^2} + B - \frac{2Ax^2}{r^4}\,, \qquad \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{A}{r^2} - B + \frac{2Ay^2}{r^4}$$

$$\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} = 2B + \frac{2A}{r^2} - \frac{2A\,(x^2+y^2)}{r^4} = 2B\,.$$

$$t_3 = B = \frac{-V_0 r_0}{r_1^2 - r_0^2}\,.$$

È importante determinare la tensione tangenziale che ha luogo sul liquido a contatto del perno e che quindi, col segno cambiato, rappresenta la resistenza opposta al moto di questo. Siccome tutto è simmetrico attorno ad Oz, consideriamo un elemento della superficie limite interna, normale all'asse Oy. Si avrà [form. (6)]:

$$\cos(nx) = 0\,, \qquad \cos(ny) = -1\,, \qquad \cos(nz) = 0\,,$$

$$P_x = \varepsilon\frac{\partial u}{\partial y} = -\varepsilon\left(\frac{A}{r^2} + B - \frac{2Ay^2}{r^4}\right).$$

Ed essendo qui $r = r_0$, $y = r_0$:

$$P_x = -\varepsilon\left(B - \frac{A}{r_0^2}\right) = \frac{\varepsilon V_0}{r_0}\,\frac{r_1^2 + r_0^2}{r_1^2 - r_0^2}\,.$$

Per r_0 ed r_1 molto grandi rispetto alla grossezza $r_1 - r_0 = h$ dello spazio annulare, si otterrebbe prossimamente

$$P_x = \frac{\varepsilon V_0}{h}\,.$$

Dunque *l'attrito è direttamente proporzionale al coefficiente* ε *ed alla velocità* V_0. *È poi pressochè inversamente proporzionale alla grossezza* h *dello strato lubrificante.*

Se l è la lunghezza del perno, il momento resistente M rispetto all'asse di rotazione sarà

$$M = -\int_0^{2\pi} l P_x r_0^2 d\theta = -2\pi l r_0 \frac{r_0^2 + r_1^2}{r_1^2 - r_0^2} \varepsilon V_0 ,$$

e per piccoli valori h di $r_1 - r_0$:

$$M = -2\pi l r_0^2 \frac{\varepsilon V_0}{h} .$$

21. Da ciò parrebbe, a prima vista, opportuno usare come lubrificante un liquido poco viscoso, per es. l'acqua. Ma, a parte altri inconvenienti come quello dell'evaporazione, ve ne ha uno molto più grave che consiglia invece l'uso d'un liquido dotato di non troppo tenue viscosità.

E infatti non è in nostro potere mantenere invariabile la distanza fra le superficie tra cui s'intende diminuire l'attrito. Il perno testè considerato, animato com'è da azioni esterne, poniamo dalla gravità, tende ad appoggiarsi sul cuscinetto e con ciò a discacciare il liquido sottoposto. Ora questo bisogna impedire quanto è possibile, tanto più che la perfetta levigatezza delle superficie, il parallelismo degli assi, e simili, di fatto mal si verificano. Ebbene: l'eliminazione del liquido, e insieme con essa il ravvicinamento delle sporgenze, risulta tanto più pronta quanto minore è ε.

Insomma bisogna aver presente che un lubrificante non è tale soltanto perchè il suo coefficiente d'attrito interno è moderato, ma anche perchè resiste abbastanza tenacemente ad essere scacciato fuori dello spazio utile: ora questa resistenza, o più precisamente il tempo necessario a ridurre ad un certo minimo, sotto l'azione d'una data compressione, lo spessore dello strato liquido, è, ripetiamo, funzione crescente di ε. Di guisa che si è costretti a scegliere una strada di mezzo evitando coefficienti sia troppo bassi che troppo alti. È un problema di minimo che in pratica si risolve per tentativi sperimentali.

§ 8. — *Approssimazioni successive pel caso generale.*

22. Ritornando ora alle formole generali, accenneremo brevemente alla soluzione delle equazioni (11) ottenute dunque mediante sostituzione nei secondi membri che sono

$$\alpha = 2\,(wt_2 - vt_3)\,,$$
$$\beta = 2\,(ut_3 - wt_1)\,,$$
$$\gamma = 2\,(vt_1 - ut_2)\,,$$

dei valori forniti da un'approssimazione precedente, per es. dalla prima

Chiamando u', v', w', ψ' valori di u, v, w, ψ soddisfacenti alle (3) e (17), si faccia

$$(38)\qquad \left\{\begin{aligned} u &= u' + \Delta_2 P - \frac{\partial S}{\partial x}\\ v &= v' + \Delta_2 Q - \frac{\partial S}{\partial y}\\ w &= w' + \Delta_2 R - \frac{\partial S}{\partial z}\\ \psi &= \psi' + \omega \end{aligned}\right.$$

con P, Q, R, S, ω incognite.

Si pongano tali espressioni nelle (11) e si rammenti che

$$\frac{\partial \psi'}{\partial x} + \frac{\varepsilon}{\rho}\,\Delta_2 u' - \frac{\partial u'}{\partial t} = 0\,, \quad \text{ecc.}$$

Allora resterà

$$\frac{\partial \omega}{\partial x} - \frac{\varepsilon}{\rho}\frac{\partial}{\partial x}\Delta_2 S + \frac{\partial^2 S}{\partial x\,\partial t} + \frac{\varepsilon}{\rho}\Delta_4 P - \Delta_2\frac{\partial P}{\partial t} = \alpha$$

$$\frac{\partial \omega}{\partial y} - \frac{\varepsilon}{\rho}\frac{\partial}{\partial y}\Delta_2 S + \frac{\partial^2 S}{\partial y\,\partial t} + \frac{\varepsilon}{\rho}\Delta_4 Q - \Delta_2\frac{\partial Q}{\partial t} = \beta$$

$$\frac{\partial \omega}{\partial z} - \frac{\varepsilon}{\rho}\frac{\partial}{\partial z}\Delta_2 S + \frac{\partial^2 S}{\partial z\,\partial t} + \frac{\varepsilon}{\rho}\Delta_4 R - \Delta_2\frac{\partial R}{\partial t} = \gamma\,.$$

Ora queste restano soddisfatte ponendo

$$(39)\qquad \begin{cases} \dfrac{\varepsilon}{\rho}\Delta_4 P - \Delta_2 \dfrac{\partial P}{\partial t} = \alpha , \\[2mm] \dfrac{\varepsilon}{\rho}\Delta_4 Q - \Delta_2 \dfrac{\partial Q}{\partial t} = \beta , \\[2mm] \dfrac{\varepsilon}{\rho}\Delta_4 R - \Delta_2 \dfrac{\partial R}{\partial t} = \gamma , \end{cases}$$

$$(40)\qquad \omega = \frac{\varepsilon}{\rho}\Delta_2 S - \frac{\partial S}{\partial t} .$$

Tuttavia S è legata con P, Q, R dell'equazione (3) di continuità. Infatti dovrà essere, sostituitivi per u, v, w i loro valori:

$$\Delta_2\left(\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} + \frac{\partial R}{\partial z} - S\right) = 0 .$$

Ma una soluzione particolare di questa è semplicemente

$$(41)\qquad S = \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} + \frac{\partial R}{\partial z} ,$$

dunque, determinate P, Q, R mercè le (39), avremo S con la (41) e quindi ω da (40).

Come il lettore vede, l'indicato procedimento ha molta analogia con quello adottato onde eliminare le forze di massa dalle equazioni dell'elasticità.

23. Se il moto è permanente, la determinazione di P, Q, R, ω si riduce facilmente alle quadrature. Difatti allora

$$(42)\qquad \begin{cases} \dfrac{\varepsilon}{\rho}\Delta_4 P = \alpha , \quad \dfrac{\varepsilon}{\rho}\Delta_4 Q = \beta , \quad \dfrac{\varepsilon}{\rho}\Delta_4 R = \gamma , \\[2mm] \omega = \dfrac{\varepsilon}{\rho}\Delta_2 S = \dfrac{\varepsilon}{\rho}\Delta_2\left(\dfrac{\partial P}{\partial x} + \dfrac{\partial Q}{\partial y} + \dfrac{\partial R}{\partial z}\right) . \end{cases}$$

Ora sia dK un elemento dello spazio K entro cui si cercano le leggi del moto; ξ, η, ζ le sue coordinate, $r = \sqrt{(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2 + (z-\zeta)^2}$ distanza fra $P(x, y, z)$ e dK. Dalla formola di Poisson è noto che la funzione

$$U = \frac{1}{4\pi}\int \frac{\lambda(\xi, \eta, \zeta)\, dK}{r} ,$$

dove l'integrale è esteso a tutto K, soddisfa alla

$$\Delta_2 U = \lambda (x, y, z).$$

E siccome si ha la anche nota relazione

$$\Delta_2 \int \lambda r dK = 2 \int \frac{\lambda dK}{r};$$

così avremo che ponendo

$$P = \frac{\rho}{8\pi\varepsilon} \int \alpha r dK,$$

essa soddisfa alla prima delle (42).

Parimenti stabiliremo

$$Q = \frac{\rho}{8\pi\varepsilon} \int \beta r dK, \quad R = \frac{\rho}{8\pi\varepsilon} \int \gamma r dK.$$

E finalmente, dopo riduzione evidente:

$$\omega = \frac{1}{4\pi} \left(\frac{\partial}{\partial x} \int \frac{\alpha dK}{r} + \frac{\partial}{\partial y} \int \frac{\beta dK}{r} + \frac{\partial}{\partial z} \int \frac{\gamma dK}{r} \right).$$

Quanto alle condizioni sul contorno, vi soddisfaremo nel modo seguente. Chiamando

$$\Delta_2 P - \frac{\partial S}{\partial x} = u'', \quad \Delta_2 Q - \frac{\partial S}{\partial y} = v'', \quad \Delta_2 R - \frac{\partial S}{\partial z} = w'',$$

per le (38) abbiamo

$$u = u' + u'', \quad v = v' + v'', \quad w = w' + w''.$$

Sieno u_0'', v_0'', w_0'' i valori assunti in superficie da u'', v'', w'' determinate come or ora si è detto. Allora è evidente che la condizione necessaria e sufficiente al problema è che u', v', w' assumano in superficie non più i valori *dati* u_0, v_0, w_0, ma bensì i valori $u_0 - u_0''$, $v_0 - v_0''$, $w_0 - w_0''$.

OSSERVAZIONI ED ESPERIENZE

SULLA

ROTTURA DEI CORPI VITREI

MEMORIA

del Dott. LUCIO GABELLI

Lo studio della rottura di un corpo, ne comprende in primo luogo la descrizione, e poi l'indicazione della causa e della maniera colla quale questa giunse a produrla.

Dall'esame di alcuni casi speciali di rotture di corpi vitrei che da qualche tempo ho avuto occasione di osservare, unitamente ad esperienze appositamente istituite: osservazioni ed esperienze collegate coi più frequenti casi di rotture di oggetti di vetro, mi risulta l'esistenza di un rapporto costante tra l'effetto e la causa, che collegherebbe cioè la modalità della rottura coll'azione che la produsse.

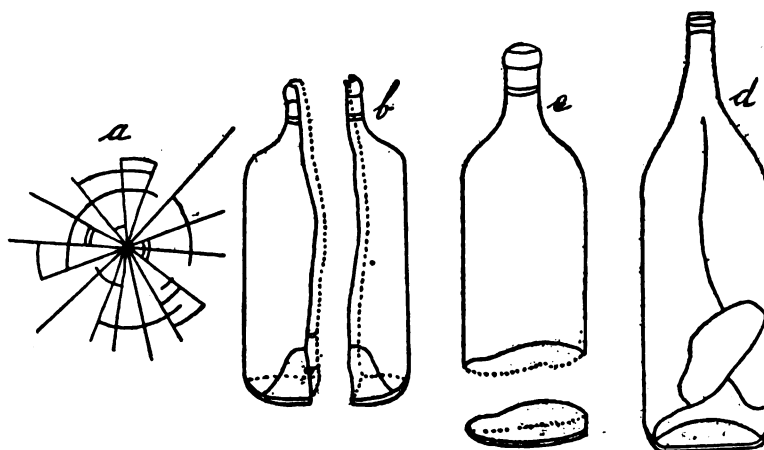
Evidentissima è l'importanza pratica e teorica di questo risultato che gli studi da me iniziati dimostrano raggiungibile.

L'industria dei trasporti non potrebbe infatti che rallegrarsi di possedere norme che almeno con seria probabilità potessero servire ad indicare la causa delle numerose avarie che si verificano continuamente. D'altra parte la teoria dell'elasticità applicata ai corpi deformabili è in connessione strettissima con questo problema, sebbene non sia forse ancora giunto il momento di trattarlo coi metodi analitici della Fisica matematica.

Entro senz'altro in argomento indicando i fatti che mi hanno condotto a intravedere l'enunciato importante rapporto tra l'effetto e la causa nei vari casi di rottura.

Un sasso lanciato da un monello contro le imposte di una finestra produce attorno al punto colpito della lastra di vetro un certo numero di linee che da esso partono a guisa di raggi e che sono non di rado congiunte con un sistema incompleto di altre linee di rottura circolari, concentriche al punto colpito (*vedi* I; *a*).

Bottiglie già contenenti vino spumante e solidamente tappate si trovano alle volte vuote e presentano allora o il fondo completamente staccato dal resto della bottiglia o questa a metà spaccata longitudinalmente (*vedi* 1; *b, c*).

Se poi si riempie un recipiente di vetro con un liquido a temperatura assai più elevata, un colpo secco ne annuncia la rottura che poi si può constatare avvenuta mediante la formazione di una crinatura di lunghezza e direzione nei vari casi assai varie (*vedi* 1; *d*).

1. — Figure tipiche di rottura: *a*, per urto; *b, c*, per pressione; *d*, per squilibrio termico [1].

Questi tre casi frequentissimi all'osservazione, rappresentano tre categorie di rotture bene specificate nella loro configurazione e nella causa.

Nel primo esempio si ha un sistema di linee di rottura simmetriche intorno ad un punto e la causa ne è un proiettile che colpisce la lastra in un punto che diventa il centro del sistema di rottura.

Nel secondo la tensione interna che si applica a tutta la interna superficie della lamina vitrea che compone il recipiente è la causa dello scoppio, e la rottura consiste in una linea che offre evidente simmetria in se stessa e cogli elementi di simmetria del recipiente.

[1] Gli oggetti di vetro specialmente a superfici convesse e le crinature ch'essi presentano dovute a rottura sono difficilissimi, anzi in molti casi impossibili a fotografarsi, causa speciali giochi di luce riflessa; perciò mi sono dovuto a malincuore limitare a presentare disegni schematici.

Nel terzo esempio la linea di rottura non ha rapporto costante cogli elementi di simmetria dell'oggetto vitreo rotto nè nelle proprie parti, ed è dovuta a squilibrio di tensioni interne nella lamina vitrea causato da riscaldamento parziale di questa essendo il vetro assai poco conduttore del calore.

Non è però da ritenersi che gli esempi che ho indicato, rappresentino una classificazione senza eccezioni. Del resto nessuna delle sistematiche empiriche è assoluta. Qui nel caso della rottura dei corpi vitrei, riuscirò a dimostrare al termine di questa memoria l'esistenza di tre principali categorie di rottura, caratterizzate nella modalità e nella causa, ma in pari tempo avrò anche messo in evidenza alcune importanti modificazioni dei tipi di rottura sopra accennati che sono in relazione con speciali condizioni del corpo vitreo o della causa di rottura, talchè veramente si vedrà avverato l'adagio che asserisce l'eccezione dar vigore alla legge.

Sopra alcune di tali eccezioni è bene soffermarsi alquanto.

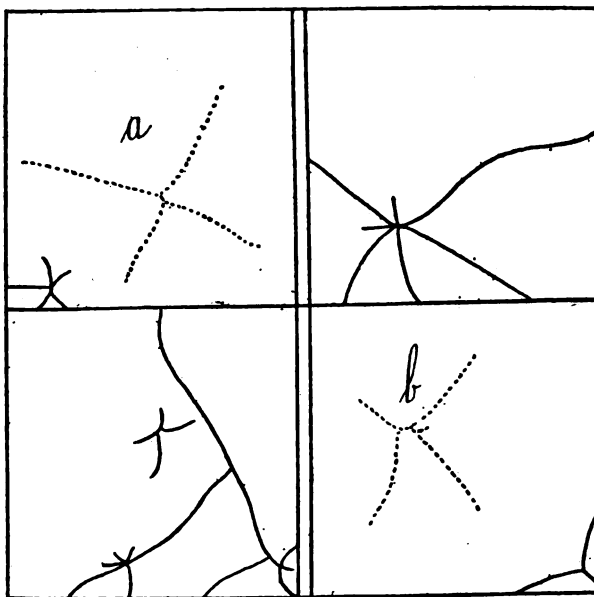
La figura 2 mostra alcune rotture prodotte da grandine in lastra di vetro, e la 3 ne mostra una causata da un colpo di frustino. Nell'uno e nell'altro caso si tratta evidentemente di rotture che hanno cause assai simili al sasso lanciato dal monello nel primo dei tre esempi che sopra ho riportato.

La grandine è infatti un proiettile come il sasso, e il colpo di frustino rappresenta certamente un caso equivalente. Nondimeno il sistema di rottura non si mostra, come nel caso del sasso, dotato di quasi perfetta simmetria circolare attorno ad un centro ma solo si può constatare una simmetrica disposizione attorno ad una retta. Questa deviazione dal tipo normale di modalità di rottura, può essere messo in relazione col fatto che la grandine raggiunse il vetro con direzione ad esso obliqua e scivolò sopra di esso per alcun tempo premendolo con forza lungo quel segmento rettilineo che restò poi linea principale del sistema di rottura e per la quale passa la linea di simmetria. Alcunchè di simile è facile concepire nel caso del colpo di frustino il quale per la propria flessibilità ben dovè strisciare, con forza, sulla lastra.

In ambedue i casi non si potè formare un sistema simmetrico circolarmente attorno ad un centro ma bensì solo fu possibile una simmetrica disposizione di linee di rottura ai due lati di una retta, perchè in

ambo i casi non si ebbe un punto ma bensì una linea di applicazione della forza che produsse la rottura.

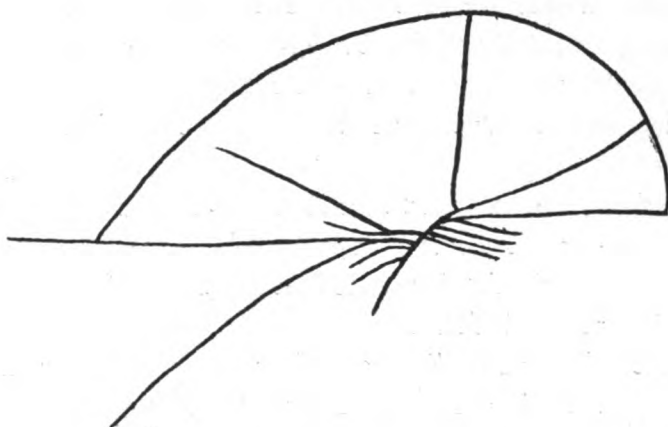
Ma, restando nella categoria delle rotture per urto, è possibile una modificazione del sistema di rottura del genere di quella descritta ma dovuta non a speciali condizioni inerenti alla causa ma a conformazione della lamina vitrea colpita. Ciò risulta da serie di esperienze istituite per studiare appunto le rotture per urto.

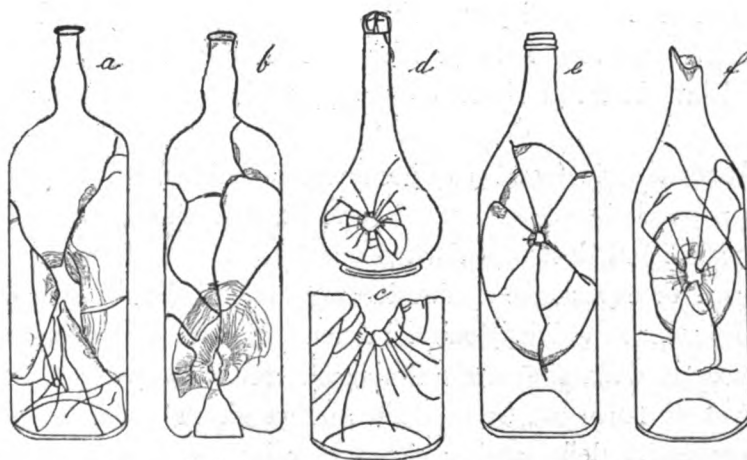
Una prima serie di esperienze fu eseguita su lastre piane di vetro colpendole con una punta di ferro percossa da martello.

2. — Figure di rottura in lastre di vetro per urto lineare (grandine). Le punteggiate *a*, *b*, appartengono a due altre invetriate poste relativamente a sinistra e a destra. Sono rispettate le orientazioni.

In una seconda serie, bottiglie di forma diversa e diversa qualità di vetro e di spessore diverso, furono rotte colla punta acuminata di una piccozza.

Altre bottiglie di una terza serie furono rotte per mezzo di colpi prodotti da un corpo non appuntito e precisamente o con un martello o anche battendo fortemente l'una contro l'altra le bottiglie stesse in esperimento.

Finalmente una quarta serie di bottiglie servì per studiare l'azione di un urto proveniente dall'interno del recipiente stesso. A tale scopo

si introduceva nella bottiglia un cilindro di ferro che poggiava sul fondo della stessa con uno dei suoi capi guernito di un tappo di su-

3. — Figura di rottura in lastra di vetro per urto lineare (colpo di frustino).

ghero mentre l'altro capo usciva liberamente dall'orificio del recipiente. A questo cilindro si imperniava un altro pezzo in ferro assai più corto

4. — Figure di rottura per urto: esterno in *a*, *b*, *c*, *d*; interno in *e*, *f*. In *a*, *b*, l'urto fu prodotto da punta di picozza, in *c*, *d*, da corpo ottuso.

che tendendo a cadere veniva sostenuto contro la parete della bottiglia. Questo pezzo possedeva superiormente alcune intaccature dove si poteva appoggiare un terzo ferro più lungo che come il primo

usciva coll'altro capo dall'orificio. Avvertendo di tenere colla mano ben fermi i due cilindretti che uscivano dall'orificio, ciò per evitare che aderendo casualmente al collo della bottiglia producessero rotture secondarie non desiderate, si colpiva con martello il terzo ferro che poggiava sulle intaccature del secondo e questo premendo contro la parete della bottiglia ne produceva la rottura.

Così disposte le varie serie di esperienze si ebbero i seguenti risultati:

Nella prima e nella quarta serie sempre si ebbero sistema di rottura a simmetria circolare: mentre nella seconda e nella terza serie si ebbe simmetria circolare se le bottiglie erano sferiche (*vedi* 4; *d*), simmetria lineare negli altri casi.

Nella seconda serie (*vedi* 4; *a*, *b*) la regione percossa dalla punta della piccozza è assai piccola e occorre un colpo violentissimo per la produzione della rottura. E mentre nella quarta serie (*vedi* 4; *e*, *f*) se si forma un foro nel punto colpito questo è, nella lamina vitrea, cilindrico: qui sempre si ha un foro conico causato dal distacco dalla lamina vitrea di un cono vitreo che ha l'apice all'esterno nel punto colpito e la base sulla superficie interna della lamina vitrea che compone il recipiente.

Da questo centro di percussione partono poche linee di rottura in alto e in basso con tendenza a formare la figura come di due fiocchi mentre ai lati destro e sinistro non appaiono generalmente linee di rottura.

Nella terza serie (*vedi* 4; *c*) il numero delle linee è assai maggiore e riescono però più spesse e ravvicinate tra loro sempre lasciando intatti o quasi i lati destro e sinistro.

Da queste esperienze risulta dunque come si diceva da principio che si può avere modificazione nel sistema di rottura, e precisamente trasformazione della simmetria circolare in rettilinea, per speciali condizioni non di cause ma bensì della lamina vitrea. È infatti evidente che la convessità della lamina vitrea in relazione anche coll'allungamento prevalente in una direzione, riesce a determinare le descritte modificazioni nel sistema di rottura.

Un secondo gruppo di eccezioni mi si presentò durante i forti geli del gennaio 1905, per i quali allo Scalo Merci P. V. in Stazione di Bologna si produsse il congelamento e quindi la rottura di ben

25 di 30 bottiglioni contenuti in due casse di acqua minerale bicarbonata calcica di Villa S. Faustino presso Massa Martana nell' Umbria, e di alcune (14) bottiglie di 5 casse di Magnesia fluida dolomina.

Le casse dell' acqua di S. Faustino sono aperte nella metà superiore e lasciano perciò completamente esposti all'ambiente i 15 bottiglioni che contengono, mentre le bottiglie di Magnesia fluida dolomina sono in casse da 50 del tutto chiuse. Ciò può spiegare la grande differenza nel numero dei recipienti rotti.

Il bottiglione dell'acqua di S. Faustino contiene circa due litri, è di vetro verde colle seguenti dimensioni: altezza 37 cm.; diametro 11,75 cm.; spessore 0,5 cm.; il tutto ben si intende in via molto approssimativa.

La bottiglia della Magnesia fluida contiene circa litri 0,700, è di vetro scuro ed ha queste medie dimensioni: altezza 23 cm.; diametro 8,1 cm.; spessore 0,35 cm.

Nella prima cassa dell'acqua S. Faustino si trovarono:

10 bottiglioni rotti.

5 » intatti. Due di questi e tre dei primi avevano il tappo a metà spinto fuori, mentre tre dei primi e tre dei secondi conservavano il tappo a posto e a quattro dei primi il ghiaccio era riuscito a scacciarlo del tutto.

Nella seconda cassa tutti i 15 recipienti si trovarono rotti; 7 di essi conservavano regolarmente il tappo, 5 lo avevano per metà sollevato e 3 del tutto spinto fuori. Il tappo era ricoperto di stagnola essa pure nei casi indicati mossa, stirata e sollevata più o meno completamente.

Nelle bottiglie di Magnesia fluida potei constatare alcuni tappi in posto, altri usciti; ma per esse non posso presentare una statistica esatta non avendo presenziato la prima constatazione dell'avaria.

Per quanto riguarda la configurazione di rottura, posso presentare la seguente statistica:

N. 1 bottiglione S. Faustino, disco del fondo staccato.
» 1 bottiglia Dolomina, » » »
» 3 bottiglioni S. Faustino, spaccati longitudinalmente.
» 3 bottiglie Dolomina, » »
» 21 bottiglioni S. Faustino, rottura speciale (*vedi* 5; *a*).
» 10 bottiglie Dolomina, » » (*vedi* 5; *b*).

Il distacco del fondo e la spaccatura longitudinale della bottiglia

che in precedenza ho accennato doversi considerare come sistemi di rottura tipici nei casi di scoppio, qui sono in esigua minoranza (20,5 %) essendo 8 contro 31 rotture speciali alle quali non sarebbe per di più impossibile ricondurre alcuni casi di spaccatura longitudinale.

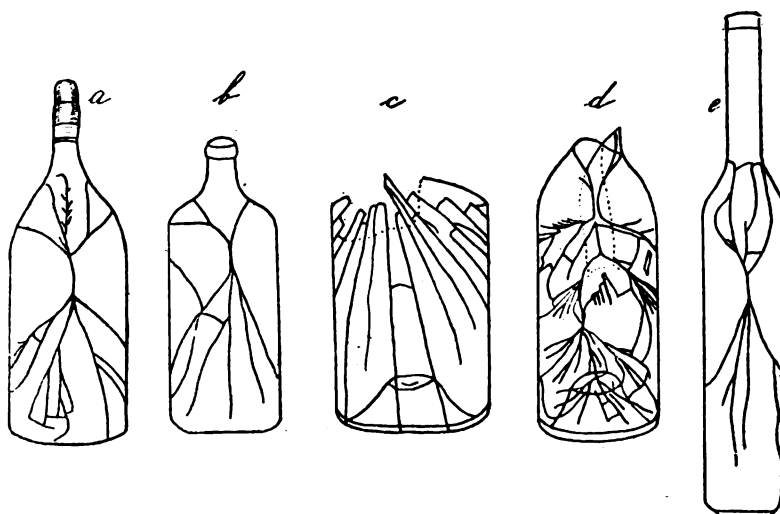
La rottura speciale che con tanta costanza si osservava pure in recipienti di forma, grandezza e vetro differente, consiste in un segmento di retta di variabile lunghezza, sempre parallelo alla generatrice del cilindro costituente il corpo della bottiglia, segmento che termina sia verso l'alto che verso il basso suddividendosi dicotomicamente varie volte e dando perciò origine come a due fiocchi di linee di rottura. Brevi crinature si vedono innestate lateralmente a queste linee di rottura delle quali costituiscono una apparenza come di barbe di penna. Sono dirette come le linee dei fiocchi verso la linea che congiunge i due fiocchi e perciò in senso contrario nelle linee appartenenti alle due parti superiore ed inferiore del sistema. Per questa ragione si debbono, le dette crinature, considerare come inizii abortiti di nuove linee di rottura. La descritta speciale modalità di rottura presentata invariabilmente da ben 31 recipienti sopra 39 trovati rotti offre variazioni individuali nelle diverse bottiglie o bottiglioni di assai poco rilievo consistendo solo nel numero delle linee componenti i fiocchi e nel centro del sistema che si sposta, a seconda dei casi, verso l'alto o verso il basso della bottiglia.

Questo complesso di osservazioni prova dunque che la tensione interna del contenuto può produrre un sistema di rottura molto simile a quello prodotto da urto o alle sue modificazioni. Se però si osserva diligentemente lo spessore di questi recipienti rotti per la tensione prodotta dal congelamento dell'acqua, è facile constatare che il centro del sistema di rottura coincide con il centro di una regione di minore spessore della lamina vitrea che specialmente nei recipienti ordinari offre a questo riguardo differenze assai rilevanti.

Questa coincidenza può molto bene servire alla interpretazione dello speciale ed eccezionale sistema di rottura osservato. Infatti la tensione che determinava lo scoppio pure essendo uguale in tutte le direzioni, praticamente per la minore resistenza che trova in un punto determinato si localizza e però tende a produrre il sistema di rottura proprio agli urti.

Io ho tentato di riprodurre sperimentalmente questa caratteristica rottura e vi sono riuscito, oltrechè col congelamento, anche colla pres-

sione di acqua contenuta nei recipienti. Per mancanza di mezzi di laboratorio non ho potuto sperimentare lo scoppio dovuto a pressione di gas. Per mezzo del congelamento ho ottenuto la riproduzione pura e semplice del fenomeno della rottura a due fiocchi, e ciò con forma, vetro e spessore differente dei recipienti esperimentati.

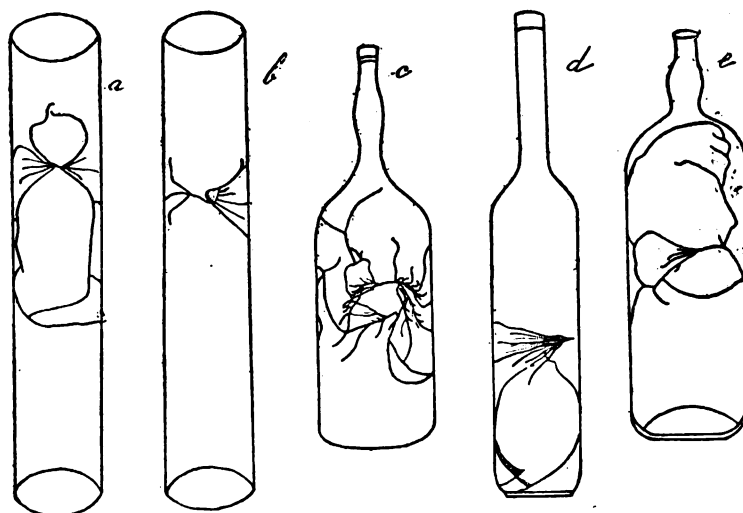
Coll'altro metodo della pressione idraulica operava nel modo seguente: riempiva con acqua le bottiglie sino a formare sul loro orificio il menisco convesso, indi si tentava con un colpo vigoroso di tapparle colla comune macchina avvertendo di mettere in questa due tappi so

5. — Figure di rottura prodotta da congelazione in *a*, *b*; da pressione idraulica in *c*, *d*, *e*.

vrapposti. Così si sviluppa una tensione interna potentissima che produce la rottura della bottiglia senza pericolo per l'operatore se si è avuto cura di avvolgere in un canovaccio il recipiente il che serve a non perdere i frammenti del recipiente che poi dovrà essere ricomposto per lo studio del sistema di rottura. Con questo metodo ho esperimentato bottiglie di varia forma e grandezza e costruite con vetro di qualità e spessore differenti, e sempre ho avuto per risultato un sistema di rottura tipicamente uguale a quello dovuto al congelamento, colla differenza che il numero delle linee componenti i fiocchi è assai più numeroso ed i fiocchi stessi sono più ampli e tendono a riunirsi ai due lati ed a formare un sistema a simmetria circolare (*vedi* 5; *c*, *d*, *e*).

Anche in questa serie di esperienze ho potuto constatare le differenze di spessore della lamina vitrea.

Una terza ed ultima eccezionale configurazione di rottura merita di essere descritta.

Nei tubi di vetro degli apparecchi per l'illuminazione a gas si può spesso osservare un sistema di rottura composto di due corti fiocchi riuniti da una retta sempre perpendicolare alla generatrice del cilindro (*vedi* 6; *a*, *b*).

Sono riuscito a riprodurre sperimentalmente anche questa caratteristica modalità di rottura riscaldando fortemente con fiamma Bunsen e in un punto solo bottiglie vuote di varii tipi e di vetri e spessore diversi (*vedi* 6; *c*, *d*, *e*).

6. — Figure di rottura dovute a squilibrio termico. In *b* si osserva nel vetro un principio di fusione all'origine del fiocco destro.

Anche in questi casi un sistema localizzato appare in relazione ad una forza che agisce pure localizzata, e siccome il vetro è poco conduttore del calore, si ha la spiegazione del minore percorso delle linee di rottura componenti i fiocchi nel caso di rotture causate da squilibrio termico in confronto a quelle causate da pressione idraulica o da urto.

La conclusione che si può dedurre da questi tre gruppi di osservazioni ed esperienze eccezionali in confronto alle più teoricamente regolari rotture di corpi vitrei è la tendenza alla produzione di un sistema di rottura a simmetria circolare ogni volta che la causa, quale essa si sia, agisce localizzata. Tale tendenza però resta ulteriormente

modificata da condizioni speciali della lamina vitrea, la curvatura e l'allungamento in modo speciale, talchè il più delle volte il sistema diventa simmetrico solamente rispetto ad una retta.

D'altra parte però le cause più svariate quali l'urto di un proiettile, la tensione interna del contenuto di un recipiente, lo squilibrio termico nelle varie parti della lamina vitrea pure producendo nei casi indicati sistemi di rottura che è possibile ricondurre ad un tipo unico, non però li producono identici e tra loro totalmente confondibili.

Lo squilibrio termico data la poca conduttività del vetro dà linee relativamente assai corte. La tensione interna dà linee molto lunghe e numerose e a direzione ben decisa ciò che non si osserva, o ben di rado, nel caso di urti.

Ottenuti e considerati questi risultati non mi pare troppo azzardato esporre il seguente abbozzo di classificazione delle rotture che per quanto empirica potrà per ora e in via provvisoria servire a considerare nel loro insieme i vari casi possibili e agevolarne l'ulteriore e dettagliato studio.

Classificazione delle rotture dei corpi vitrei.

Classe I. — Cause esterne alla lamina vitrea; applicazione localizzata; sistema di rottura indipendente dalle linee fondamentali di costruzione dell'oggetto rotto e nei casi tipici dotato di simmetria perfetta circolare attorno al punto colpito, mentre solo offre disposizione simmetrica di parti rispetto ad una linea se l'applicazione fu localizzata solo parzialmente o se la lamina vitrea ebbe speciali condizioni di allungamento o di curvatura in determinate direzioni:

Esempio: urto di proiettile.

Classe II. — Cause esterne; applicazione estesa a tutta una intera superficie del corpo se questo è laminare; il sistema di rottura segue nei casi tipici (oggetti a conformazione perfetta) linee prestabilite e fondamentali della costruzione dell'oggetto (distacco del disco fondale, spaccatura longitudinale traverso il fondo e lungo le pareti laterali del recipiente). Nei casi, comunissimi, di imperfezioni, specialmente nello spessore della lamina vitrea l'applicazione localizzandosi può imitare le rotture della classe I dalle quali in questi casi si può

però ancora riconoscere per il maggior numero di linee di rottura e per la loro più costante direzione.

Esempio: scoppio di un recipiente.

Classe III. — Cause interne e applicazione di esse pure interna alla lamina vitrea. Sistema di rottura generalmente molto semplice formato da una linea a direzione spesso assai variabile. Non presenta elementi di simmetria nè segue linee fondamentali nella costruzione dell'oggetto. Se però il calore si localizza in un punto relativamente assai ristretto, anche in questa classe si possono avere figure di rottura simili a quelle che si ottengono nella Classe I e II, solamente le linee son qui assai ridotte in lunghezza. — Si possono poi avere sistemi di rottura tra loro indipendenti che formano intrecci alle volte assai complicati.

Esempio: rotture dovute a squilibrio termico o a condizioni di tempera.

È chiaro il criterio che regge questa classificazione specialmente per quanto concerne le cause. Il proiettile, qualunque esso sia, che raggiunge un corpo e lo rompe, tocca il corpo in una parte ben determinata, e generalmente assai piccola, della superficie di quello. Al contrario la tensione che dall'interno di un recipiente esercita, per qualsiasi ragione il contenuto, si applica a tutta la superficie interna Nella terza classe la causa, all'atto della rottura, è sempre interna alla lamina vitrea ma però può essere di provenienza esterna. In certi casi occorre perchè si abbia la rottura una causa occasionale oltre la causa efficiente. Da questa sola dipende la produzione della rottura colle sue modalità di configurazione, ma essa non può entrare in azione senza l'intervento di quella. Esempio classico ne è la rottura delle lagrime batave.

Alla classe prima appartengono le rotture dovute a cause per loro natura localizzate nell'applicazione, ad una regione generalmente assai esigua. Vi si considerano gli urti che variano tra di loro in grandissima misura e perciò questa classe è assai meno omogenea della seconda dove si raggruppano le rotture dovute a pressione.

Gli urti variano per la loro intensità e per la grandezza della superficie di applicazione del corpo urtante a quello urtato. E nell'intensità influisce sia il peso del corpo urtante che la velocità dalla

quale è animato. La superficie di applicazione ha importanza non tanto per il suo valore assoluto quanto nel rapporto alla superficie totale del corpo urtato. Perciò si possono distinguere urti di piccoli e di grandi proiettili, velocissimi o lenti.

Altre cause potrebbero pure trovare posto in questa classe, ad esempio l'elettricità (traforo elettrico del vetro), ma non ho osservazioni in proposito.

In questa classe la tipica figura di rottura è un sistema di linee radiali partenti da un punto, che è il punto di applicazione dell'urto, intersecate da linee circolari incomplete, concentriche allo stesso punto. In questo caso la simmetria del sistema è perfetta. Però questa figura soffre altrettante modificazioni quante modalità può presentare l'urto che ne è la causa.

Se il corpo urtante fu velocissimo e lo spessore della lamina vitrea non è molto rilevante, si può avere perforazione del vetro senza produzione di linee radiali o circolari, il foro mostra i suoi margini scagliosi. Non è però questo un caso molto facilmente avverabile mentre invece con grandissima frequenza si nota l'esistenza di linee radiali attorno al foro stesso. Queste linee radiali sono più o meno numerose in relazione all'intensità e velocità dell'urto, sono rettilinee o sinuose e ciò in rapporto all'intima struttura del vetro e al suo spessore. Anche proiettili di rivoltella possono dare linee radiali sinuose.

Se l'urto è prodotto da un corpo che offra un punto di applicazione assai ridotto e sia dotato di velocità discreta, tale però da non giungere a perforare la lamina, si avrà il sistema completo delle linee radiali e delle concentriche.

Se poi il corpo urtante è relativamente grande, si potrà avere asportazione di una placca generalmente poligonale a lati rettilinei o curvilinei. Gli angoli del poligono possono essere il punto di origine di linee di rottura in questo caso di svariatissime direzioni e lunghezze. Tali linee sono rette, curve o sinuose e si debbono ritenere omologhe alle radiali dei precedenti casi. Non sono mai molto numerose: ne può esistere anche una sola. In tal caso però, spesso la placca asportata non indica il punto di applicazione del corpo urtante ma è l'effetto di un riccio, ripiegato su se stesso, della unica linea di rottura lungo la quale spesso è possibile notare alcune scagliature e minime crinature raggianti da un punto che fu il punto di applicazione dell'urto (*vedi* 7; *a*).

Finalmente una sola linea è spesso l'unico effetto dell'urto e può in tal caso avere dimensioni e direzione variabilissime a seconda delle varie circostanze inerenti al punto di applicazione e alla lamina vitrea. Si possono ad esempio non di rado osservare in bottiglie linee di rottura elicoidali (*vedi* 7; *b*) che a primo aspetto si sarebbe tentati interpretare in relazione alla struttura della lamina vitrea che spessissimo mostra alla superficie e nel suo interno fila vitree elicoidali che dimostrano uno stiramento subito durante la confezione della bottiglia. Eppure tali linee di rottura elicoidali si possono spiegare assai più semplicemente come il naturale allungamento di una linea di frattura inclinata sulla generatrice della bottiglia. Così non occorre una seconda spiegazione per le linee di rottura elicoidali normali alle fila evidenti nella lamina vitrea.

Nel caso di urti assai intensi il corpo vitreo si frantuma e mentre alcuni dei pezzi mostrano linee radiali bene evidenti, altri mostrano linee di rottura affatto indipendenti. Queste possono essere l'effetto di rotture secondarie, avvenute cioè in un secondo tempo nel cadere dei frantumi.

Il sistema di rottura oltre le accennate variazioni in complicazione può anche modificarsi nella simmetria. Allora le sue parti sono simmetriche rispetto ad una linea; non più circolarmente attorno ad un punto. Ciò accade, come da principio ho descritto, se il corpo urtante si move nell'atto di urtare come nel caso della grandine e del frustino oppure se la lamina vitrea offre curvature ed allungamenti prevalentemente in una direzione come nelle bottiglie colpite alla superficie convessa. E finalmente il sistema può presentarsi imperfetto accidentalmente se manca la lamina vitrea dove dovrebbesi sviluppare la rottura come accade spesso nei bicchieri colpiti sull'orlo (*vedi* 7; *d*).

Le rotture classificate nella classe seconda si osservano più frequentemente nei corpi vitrei laminari: lastre e recipienti; perciò è possibile in essi distinguere due superficie che sono identiche ed equivalenti nelle lastre piane ma non nei recipienti. In questi esiste una superficie interna concava ed una esterna convessa con proprietà differenti.

Varie sono le cause che agiscono dall'esterno della lamina vitrea e con applicazione estesa. Si tratta di tensioni che producono, come usualmente si dice, lo scoppio.

Queste tensioni possono derivare da corpi solidi, da liquidi e da aeriformi. Lo scoppio per congelamento di acqua rappresenta il caso di gran lunga più comune di scoppi dovuti a corpi solidi ma un recipiente può subire in certi casi una tensione causa di rottura per la dilatazione del suo contenuto solido. Ho visto scoppiare una bottiglia a sezione quadrata quasi completamente ripiena di zucchero fattovi lentamente cristallizzare internamente. La bottiglia era lontana dai raggi solari diretti ma esposta però in un ambiente che in qualche ora del giorno sorpassava i 30° di temperatura. Lo strato di zucchero a contatto del vetro si deve esssere dilatato e la tensione ha prodotto la rottura della bottiglia.

I liquidi possono causare lo scoppio del recipiente per dilatazione prodotta da riscaldamento. Siccome poi l'acqua è poco coercibile come tutti i liquidi in generale, e perciò trasmette le pressioni che riceve, così con essa ho potuto stabilire una serie di esperienze che ho precedentemente descritto.

Lo scoppio dovuto a corpi aeriformi si ha principalmente per opera dei liquidi fermentabili (vino) dai quali si produce anidride carbonica. Qui occorre però distinguere due casi. Il vino infatti perdurando la fermentazione produce continuamente anidride carbonica la quale accumulandosi finalmente può raggiungere la tensione necessaria allo scoppio. Ma il vino a fermentazione da tempo esaurita tiene però sempre in soluzione anidride carbonica e in tanta maggiore quantità quanto minore è la temperatura dell'ambiente. Però se si estrae da una cantina ben riparata un recipiente di vino e si trasporta in locale assai riscaldato come sui carri, sotto le tettoie o sui piani caricatori delle ferrovie, è possibile che il gas in eccesso relativamente alla nuova temperatura, e che però forzatamente deve svolgersi, sia sufficiente a produrre la tensione produttrice di scoppio. Questi casi sono, come risulta da mie osservazioni ben constatate, più frequenti che non si creda, ma vanno in generale confuse dai periti ferroviari coi casi di comune fermentazione. Se è stato possibile raccogliere vino dal recipiente scoppiato, lo si vedrà in tali casi limpido, non torbido come diventa fermentando.

Perchè si avveri uno scoppio è condizione assai favorevole la perfetta tenuta del tappo e in caso di perizia occorre sempre esaminarlo bene sotto questo rispetto. Non è però da credersi che questa sia condizione essenziale, perchè la tensione forte e subitanea può

riuscire a far scoppiare un recipiente pure aperto ma non sufficientemente. Si veda a questo proposito quanto in precedenza ho indicato a proposito delle rotture per congelazione dei bottiglioni di acqua di S. Faustino.

Nei recipienti lo scoppio può avverarsi o per aumentata tensione interna o per pressione esterna non bilanciata da sufficiente tensione interna. Si ha perciò la possibilità di scoppio interno od esterno e cioè dall'interno o dall'esterno. Nei due casi la figura di rottura potrà differire come ho mostrato avvenire per l'urto esterno od interno nelle bottiglie. Però su questo argomento non avendo che un'unica osservazione nulla posso asserire.

La singolare rottura circolare delle lastre di vetro osservate in vari casi ed ultimamente durante l'eruzione del Vesuvio nel 1906 e in un temporale grandinoso a Velletri, va considerata come uno scoppio, avendola il Galli [1] dimostrata prodotta da tensione di forte vento in relazione a variabilità di spessore nelle varie regioni delle lastre di vetro che furono trovate forate.

In ordine discendente di frequenza o meglio di facilità allo scoppio si ha: fermentazione, congelamento, svolgimento di Co^2 per temperatura aumentata, dilatazione di liquidi, dilatazione di solidi.

In questa classe raramente si vede attuata la modalità di rottura che sarebbe per essa la tipica. Come sempre la rottura deve avverarsi dove minore è la resistenza e perciò la tensione interna dovrà se il recipiente è ben confezionato romperlo seguendo linee che per effetto stesso della costruzione offrono debole resistenza. Ma commercialmente non è frequente trovare un recipiente a questo effetto ben conformato e almeno praticamente omogeneo. E allora la tensione interna pure uguale in tutti sensi viene in certo modo a localizzarsi nel punto di minima resistenza e si ha la caratteristica figura a due fiocchi che già ho descritto. Tale sistema di rottura solo in rari casi può confondersi con quello prodotto da urto perchè in questo non si osservano o assai rare le divisioni dicotomiche così caratteristiche.

Alla terza classe appartengono principalmente le rotture dovute a condizioni di tempera e quelle dovute a squilibrio termico. Quando

---

[1] Galli Prof. Ignazio, Turbine grandinoso e vetri forati a Velletri, *Memorie della Pontificia Accademia dei Nuovi Lincei Vol. XXV. 1907.*

si riscalda un corpo solo in una parte limitata di esso ed assai intensamente, come ad esempio con fiamma una lastra di vetro, dopo un certo tempo si ha la rottura che avviene per distacco istantaneo e violento di varie parti o frammenti che vengono proiettati a qualche distanza ([1]). In questo caso la causa di rottura si direbbe esterna ma lo è solo in apparenza perchè in realtà la rottura è avvenuta per tensioni interne del materiale vitreo che poco conduttore trattiene molto calore in alcune parti che perciò si dilatano e producono forti tensioni sulle adiacenti meno riscaldate.

La tenacità del vetro sino ad un certo punto resiste alla tendenza al distacco indotta dalle accennate tensioni, ma poi sorpassato un certo limite istantaneamente resta superata tale resistenza e si ha la rottura con proiezione violenta delle parti distaccate.

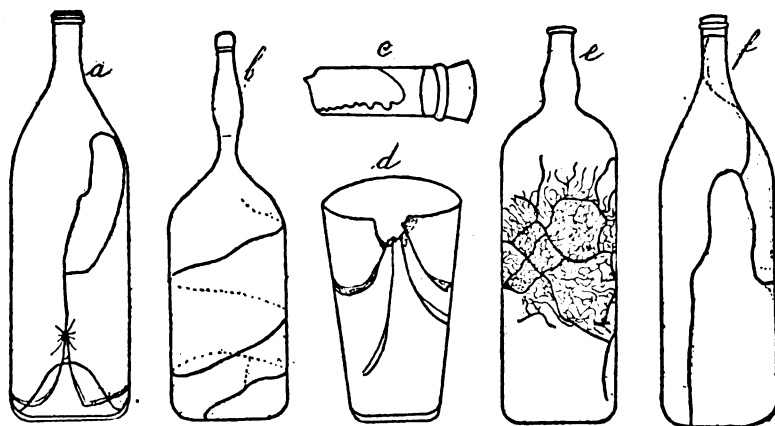
Non è dunque in questo caso la rottura causata direttamente dal riscaldamento, ma bensì dalle tensioni interne che il vetro prova per ineguale ed intenso riscaldamento, e però si dirà che la causa di tali rotture per squilibrio termico è interna al corpo vitreo pure essendo di provenienza esterna dipendendo dal calore che emana da sorgente esterna al vetro.

Notissimo esempio di rotture dovute a condizioni di tempera si ha nelle lagrime batave. Meno note sono le bottigliette di Bologna ([2]). Nelle lagrime batave allo spezzarsi della caudicola o parte assottigliata tutto il corpo della lagrima si riduce istantaneamente in polvere grossolana. Anche in questo caso si avverte un rumore di scoppio e si ha proiezione di frammenti. Le lagrime batave si confezionano lasciando cadere goccie di vetro fuso nell'acqua. Al contatto di questa il vetro esterno corticale subitamente si consolida mentre nell'interno ciò può avvenire solo qualche tempo dopo e la massa interna colla parte corticale sono in certo modo antagoniste e in preda a forti stiramenti. Ma questi però sono in una specie di equilibrio che viene

---

([1]) Sopra questo argomento del sistema di rottura di lastre di vetro per squilibrio termico non mi diffondo ora in dettagliata descrizione, ma prossimamente in una ulteriore comunicazione presenterò i curiosi ed interessanti risultati di mie ricerche sperimentali in proposito.

([2]) Consultare a questo proposito le *Opere del consigliere* GIAN LODOVICO BIANCONI *bolognese Ministro della Corte di Sassonia presso la S. Sede. Volume 3°. Due lettere di fisica al Sig. Marchese Scipione Maffei.* Lettera 1ª delle Caraffe di vetro, che scoppiano al cadervi dentro di alcune picciole materie, e di altri vetri curiosi. — *Milano nella tipografia de' Classici italiani, contrada del Bocchetto N. 2536, Anno 1802.*

a cessare allorquando si asporta una parte dello strato esterno corticale (ciò che nelle esperienze ordinarie più facilmente si ottiene spezzando la caudicola), e allora turbato in un punto l'equilibrio dinamico questo si distrugge in tutto il resto del corpo. In questo caso la rottura è solamente dovuta alle tensioni interne ma però è necessario perchè esse entrino a funzionare che intervenga un'altra azione che si deve considerare come causa occasionale. Le rotture per squilibrio termico sono frequenti e molto facilmente si possono pure provocare sperimentalmente sebbene la violenta proiezione delle parti dislocate renda necessarie alcune precauzioni e laboriosa la ricostru-

7. — *a*, rottura per urto ricevuto verso il basso dove è l'incrinatura a stella ; *b*, rottura elicoidale ; *c*, rottura per torsione ; *d*, rottura per urto sull'orlo ; *e*, rottura per subitaneo raffreddamento ; *f*, rottura per subitaneo riscaldamento.

zione dell'oggetto rotto, ricostruzione necessaria per lo studio del sistema di rottura. Più frequenti ancora sono le rotture spontanee dovute a condizioni di tempera. Nè con queste si chiude l'elenco delle cause di rottura della terza classe perchè anche una forza meccanica esterna all'oggetto vitreo può avere il proprio punto di applicazione all'interno della lamina vitrea o del corpo vitreo in generale e provocarne la rottura. Così se si torce un bastoncino di vetro questo se poco tenace potrà rompersi e si rompe per forza che agisce dall'interno sebbene sia essa pure come il calore di provenienza esterna. Ancora se aggiustato un buon tappo di cauciù ad una provetta e lasciatolo aderire al vetro si tenta farlo rotare tenendo la provetta ferma coll'altra mano, essa si spezzerà irregolarmente lungo una crinatura sinuosa (*vedi* 7, *c*) Il movimento esterno di tensione vi ha provocato

delle tensioni e degli stiramenti interni cause della rottura. Nella terza classe sono frequenti le rotture multiple o indipendenti: tra esse caratteristiche quelle prodotte da subitaneo raffreddamento di una lamina vitrea intensamente riscaldata (*vedi* 7; *e*). Generalmente si ha una linea di rottura sinuosa che segna il confine delle zone diversamente riscaldate (*vedi* 7; *f*). Se però il riscaldamento è intenso e localizzato si ha una rottura caratteristica che già ho indicato. Per le condizioni di tempera più facilmente si hanno rotture molteplici ed indipendenti tra loro spesso indicate da finissime crinature.

Al termine di questa modesta contribuzione allo studio della rottura dei corpi vitrei credo potere ragionevolmente affermare la possibilità di determinare almeno nella maggioranza dei casi il rapporto costante che lega la modalità di rottura alla azione che la causò. Per passare però dalla possibilità di tale determinazione alla sua attuazione nei singoli casi occorrono ben altre ricerche sperimentali ed analitiche. In mancanza di meglio e specialmente in vista dei bisogni pratici dei periti nelle avarie che si verificano nella industria dei trasporti ogni osservazione è buona; però di tutto si faccia tesoro e spesso la paziente diligenza usata a ricomporre dai suoi numerosi frammenti un oggetto rotto sarà ben ricompensata dall'apparizione importante di un sistema caratteristico di rottura che nulla prima faceva supporre.

L'OPERA SCIENTIFICA DI LORD KELVIN

(WILLIAM THOMSON)

MEMORIA

del socio ordin. Prof. GIOVANNI COSTANZO

Il decano, non solamente della nostra Accademia, ma delle scienze fisiche dei giorni nostri, Lord Kelvin, è morto il 17 dicembre ultimo scorso (1907), all'età di circa 84 anni. Nella antica e monumentale Abbazia di Westminster, accanto ai resti mortali di Isacco Newton riposa oggi la sua salma, e certo non v'è chi meglio di Newton possa stare vicino a Lord Kelvin, nè onore più grande poteva decretare a Lord Kelvin la patria sua dopo morte.

William Thomson, diventato Sir William Thomson nel 1866, e pari col titolo di Barone Kelvin di Largs nel 1892, era nato a Belfast (Irlanda), secondo figlio di James Thomson, il 26 giugno del 1824. Il padre suo insegnava allora matematica nella « Royal Academical Institution » di Belfast, ove dimorò fino al 1832, anno in cui, insieme con i suoi due figliuoli James e William, passò a Glasgow essendo riuscito ad avere la cattedra di matematica in quella Università.

All'età di 10 anni e 5 mesi, William Thomson fu immatricolato all'Università di Glasgow, ove diè subito prova della sua prodigiosa inclinazione per le matematiche e per la fisica, superando in queste discipline i suoi compagni che gli erano tutti maggiori per età; era appena quattordicenne quando gli veniva attribuito il premio per l'astronomia, ed una medaglia universitaria per una sua memoria sulla forma della terra.

Nell'estate del 1840 William fu condotto dal padre suo per una gita in Germania. Egli aveva allora, solo da qualche giorno cominciato a leggersi *théorie analytique de la Chaleur* del Fourier, perciò si portò con sè il libro. Questa lettura diede poco dopo occasione

alla sua prima memoria originale, che porta la data di Francoforte, luglio 1840 ([1]).

Nell'ottobre del 1841, quando cioè aveva 17 anni, egli si recò a Cambridge ove si immatricolò al Collegio di S. Pietro (Peterhouse), ed ivi ottenne il suo grado nel 1845, riuscendo secondo *Wrangler* contro Stephen Parkinson, che fu dichiarato *senior Wrangler*. La storia di questa sconfitta subita dal giovane Thomson merita un cenno particolare, anche perchè rimasta celebre a Cambridge negli Annali del *Tripos*. Alla prova scritta il Parkinson riempì tanta carta, e scrisse con tale spaventosa velocità, che gli esaminatori rimasero sbalorditi, ed un d'essi, Roberto Leslie Ellis, dichiarò che non avrebbe mai creduto che si potesse coprir d'inchiostro tanta carta in sì poco spazio di tempo. Vi fu tra gli esaminatori chi fece osservare che il lavoro di Thomson era di gran lunga migliore di quello del Parkinson, ma quantità vinse su bontà, ed il premio fu per chi aveva scritto di più. Il fatto fece parlar tanto, che è rimasto proverbiale a Cambridge l'andare di passo Parkinson, « Parkinson's pace ».

Ma immediatamente dopo, William Thomson aveva una rivincita sul suo competitore, in una prova in cui, non diligenza o erudizione, ma originalità e forza d'ingegno conducevano a vittoria. Egli vinceva il premio Smith, e nella votazione era superiore al suo avversario per un terzo dei punti. L'anno appresso fu eletto membro della Peterhouse.

Di Newton si sa che anch'egli diciassettenne andasse a Cambridge per studiare e in quel suo periodo di vita ci si narra che fu « giovane saggio, silenzioso e pensatore ». A Cambridge Thomson fu altra cosa; infatti si vide in lui non solo lo studente pronto e disciplinato, ma ancora il giovane brillante che seppe distinguersi e vincer premi nei giuochi ginnastici e sportivi, il valentissimo musico che meritò d'essere nominato presidente della « *Cambridge University Musical Society* ». Nè tralasciò mai d'esercitarsi nella ginnastica e nella musica nemmeno negli anni inoltrati di sua vita, e solo una disgrazia occorsagli nel fare esercizi sul ghiaccio l'obbligò più tardi a metter da parte la ginnastica.

Quando William Thomson compì i suoi studi nell'Università di Cambridge le ricerche sperimentali eran là poco in fiore. Fu per questo ch'egli, dopo essere stato a Londra a visitare Faraday nel suo laboratorio della « *Royal Institution* », sentì il bisogno di lasciare

([1]) « On Fourier's Expansions of Functions in Trigonometrical Series ». *Cambridge Mathematical Journal*, vol. II, maggio 1841, pp. 258-262.

l'Inghilterra per recarsi a Parigi a mettersi al fianco di Enrico Vittorio Regnault, che attendeva allora, nel suo rinomato laboratorio fisico, ai classici lavori che si hanno di lui sulle proprietà termiche dei vapori.

W. Thomson aveva 22 anni, ed erano passati appena pochi mesi da che stava a Parigi, quando (1846) veniva chiamato a succedere al Dr. Meikleham nella cattedra di *Filosofia naturale* (nome tradizionalmente conservato in Inghilterra alla Fisica generale), nell' Università di Glasgow ([1]). Con questo comincia la luminosa carriera didattica di William Thomson. La sua dissertazione inaugurale trattò *de caloris distributione in terrae corpus*, argomento questo che egli già prima d'essere chiamato all' insegnamento, e prima ancora di conseguire i gradi alla Peterhouse, aveva toccato, sebbene di volo, nella sua precoce produzione scientifica. Era ancor diciassettenne quando pubblicò, nel *Cambridge Mathematical Journal*, una elaborata memoria sul movimento uniforme del calore dei corpi ([2]). In essa può dirsi ch'egli cominci ad affrontare il difficile problema dell'età della terra, ponendosi coraggiosamente in lotta con i geologi della così detta *Scuola Uniformitaria* che reclamava migliaia di milioni di anni per la formazione delle stratificazioni della crosta terrestre, Egli, basandosi sul calcolo della conduzione del calore, sostenne che cento milioni d'anni fa, le condizioni fisiche del nostro pianeta dovevano essere ben differenti dalle attuali. Ciò condusse ad una lunga controversia che non valse a scuotere gli argomenti del Thomson, il quale alcuni anni or sono, una seduta della *Royal Institution*, stabiliva per la terra un'età ancora più recente, riducendola ai 20 o al più ai 40 milioni d'anni, aggiungendo che il nostro pianeta probabilmente non sarà più in condizioni di mantener la vita fra 10 milioni d'anni; allora il sole sarà freddo e l'esistenza di esseri organizzati sarà impossibile. Questo problema dell' età della terra esercitò sempre gran fascino sulla mente di Lord Kelvin, e negli ultimi anni di sua vita egli stesso lo diceva tale che il fisico non avrebbe mai potuto finire d'esaminarlo, anche

([1]) Si noti che in tal modo furono contemporaneamente professori all'università di Glasgow, il padre James ed il figlio William Thomson. Più tardi (1873) anche James Thomson figlio fu chiamato all'insegnamento in detta università, per l' ingegneria.

([2]) « On the uniform motion of heat in homogeneous solid bodies, and its connetion with the mathematical theory of the electricity ». *Cambridge Math. Journ.*, vol. III, 1843, pp. 71-84; « On the linear motion of heat », *ibid.*, III, 1843, pp. 170-174, 206-211.

quando c'impiegasse tutti i suoi giorni e tutte le notti, aggiungendo poi in tono di scherzo « quando non avesse niente di meglio da fare ».

Egli sostenne che il nostro pianeta, nonostante il suo enorme calore interno, ha un nucleo solido e non liquido, e tra le altre prove, presentava un elegante e semplicissimo esperimento. Sospendendo a un filo due uova, uno crudo, l'altro indurito con la cottura, si imprima loro un forte movimento di rotazione, l'uovo crudo si fermerà molto tempo prima che non l'altro; se la terra fosse stata liquida nel suo interno a quest'ora dovrebbe esser già ferma da un pezzo [1].

I lavori però che emergono su tutti nell'opera scientifica di Lord Kelvin sono quelli riguardanti la Termodinamica. Nel 1824 Nicola Leonardo Sadi Carnot introdusse nelle sue *Réflexions sur la puissance motrice du feu*, la considerazione delle operazioni cicliche. Ma l'opera di Carnot non incontrò il favore generale dei Fisici, se non quando fu ripresa da Lord Kelvin, il quale mostrò la necessità di modificare il ragionamento di Carnot in modo da metterlo d'accordo con la teoria dinamica del calore. Nel giugno del 1847 James Prescott Joule, il grande fisico e oscuro birraio di Salford, ottenne di poter leggere nell'adunanza della *British Association* in Oxford, una sua memoria in cui per la prima volta era esplicitamente enunciato il principio della

---

[1] Cito le principali memorie del Kelvin sull'argomento dell'età della terra:

« On a uniform motion of heat in homogeneous solid bodies, and its connexion with the mathematical theory of electricity ». *Philosophical Magazine*, VII, 1854, pp. 502-313.

« On the use of observations of terrestrial temperature for the investigation of absolute dates in Geology ». *British Association's Reports*, 1855, pp. 18-19.

« On the mechanical action of radiant heat or light. — On the power of animated creatury over matter. — On the sources available to man for the production of mechanical effect ». *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh*, III, 1857, pp. 108-114.

« On the secular cooling of the Earth ». *Transactions of the Roy. Edinb. Soc.*, XXIII, 1861, pp. 157-170; *Phil. Mag.*, XXV, 1863, pp. 1-14.

« On the rigidity of the Earth ». *Proc. of the Roy, Soc. of London*, XII, 1862-63, pp. 103-104; *Glasgow Phil. Soc. Proc.*, V, 1864, pp. 169-170; *Phil. Trans.*, 1863, pp. 573-582.

« On the elevation of the Earth's surface temperature produced by underground heat ». [1864] *Edinb. Roy. Soc. Proc.*, V, 1866, pp. 200-201.

« The doctrine of Uniformity in Geology briefly refuted ». *Edinb. Roy. Soc. Proc.*, V, 1866, pp. 512-513.

« On the geological time ». [1868] *Glasgow Geological Soc. Trans.*, III, 1871, pp. 1-20.

« Geological dinamics ». *Geol. Mag.*, VI, 1869, pp. 472-476; *Glasgow Geol. Soc. Trans.*, III, 1871, pp. 215-238.

« On the internal fluidity of the Earth ». *Nature*, V, 1872, pp. 256-259.

« Geological climate ». *Glasgow Geol. Soc. Trans.*, V, 1877, pp. 238-250.

« The internal condition of the Earth; as to temperature, fluidity and rigidity ». [1878] *Glasgow Geol. Soc. Trans.*, VI, 1882, pp. 38-49.

conservazione dell'energia. Il presidente raccomandò allora al Joule la brevità, e l'oratore aveva finito di parlare senza che si fosse iniziata la menoma discussione sulla tesi ch'egli sosteneva; si sarebbe passato ad altro argomento senza dare importanza alla nuova idea, se il giovane William Thomson non si fosse alzato a parlare nella sezione. Le acute osservazioni del professore di Glasgow non incontrarono la fredda accoglienza che avevano avuto le parole del semplice birraio di Salford, e la teorica del Joule cominciò ad interessare gli astanti. Dopo la discussione Joule e Thomson trattarono insieme dell'argomento, e due settimane appresso si accompagnavano in Svizzera per misurare l'accrescimento di temperatura che si produceva nell'acqua di un torrente in montagna dopo una cascata.

Le vedute del Joule sulla natura del calore influirono potentemente su Lord Kelvin, e gli diedero occasione di presentare una serie di memorie su questi argomenti alla Società reale di Edinburgh. Importantissime tra queste sono quelle riguardanti *gli effetti termici di un fluido in moto* in cui espone un metodo ch'egli ebbe agio di seguire in appresso col Joule, per la determinazione sperimentale del rapporto tra il calore prodotto nella compressione di un gas, ed il lavoro speso a produrlo. Obbligando un gas, ad attraversare un diaframma forato, le temperature del gas da ambe le facce del diaframma dovranno essere esattamente uguali solo quando il calore sviluppato dalla compressione fosse rigorosamente uguale al lavoro speso. Sperimentalmente si trova che nessun gas soddisfa completamente a questo criterio, e che, come doveva prevedersi, i gas tanto più s'allontanano da esso quanto meno sono perfetti. I dati sperimentali ottenuti con questo metodo bastano per la teoria della macchina ad aria. Dalle esperienze fatte dagli stessi Joule e Thomson segue che quando un gas si espande senza compiere lavoro esterno, si raffredda alquanto se i corpi circostanti non gli cedono calore, perchè *il lavoro interno non è rigorosamente nullo*, e il raffreddamento è proporzionale alla differenza di pressione ottenuta (0°,28 per ogni atmosfera) e in ragione inversa del quadrato della temperatura assoluta. L'apparato di Linde per la liquefazione dell'aria è precisamente fondato su questo fenomeno noto generalmente sotto il nome di *effetto Joule e Thomson.*

Nel 1882 Lord Kelvin in una sua memoria « sulla universale tendenza in natura alla dissipazione dell'energia meccanica », presentata alla stessa Società di Edimburgh, dimostrò che « quando il calore è

creato per mezzo di un processo riversibile, v'è contemporaneo trasporto da un corpo freddo a un corpo caldo di una quantità di calore, che sta alla quantità di calore creato in rapporto definito e dipendente dalla temperatura dei due corpi Quando è poi creato calore per mezzo di un processo non reversibile (come lo strofinio) vi è dissipazione d'energia, ed il ritorno completo di questa energia alla sua primitiva condizione è impossibile. Ne segue che per restaurare o riprodurre per mezzo del calore un qualsiasi effetto meccanico, bisogna impiegare una quantità di calore maggiore all'equivalente del lavoro ottenuto. Ciò vale quanto dire che, non esistendo alcun procedimento rigorosamente reversibile, ogni volta che si trasforma dell'energia, una parte di essa è necessariamente convertita in calore e *dissipata* in maniera da non poter subire più trasformazioni, utili. Ed essendo l'energia in uno stato di incessanti successive trasformazioni, vi sarà un tempo in cui tutto l'universo avrà assunta questa forma ultima di calore disperso e inutile. Stendeva con ciò, Lord Kelvin, la sentenza di morte dell'universo, e per primo enunciava il principio della *degradazione della energia.*

Notevole confusione vi fu per un pezzo, e accade anche oggi di osservarla qualche volta in certi testi di scuola, a proposito della temperatura. Si soleva in passato parlare del vantaggio dei termometri a mercurio o ad aria, fondandosi sul fatto che il mercurio e l'aria si dilatano pressochè uniformemente, senza che fosse dato un campione o termine di riferimento per mezzo di cui potesse stabilirsi questa uniformità. Se noi prendiamo una sostanza come tipo, e definiamo *uguali incrementi di temperatura* quelli che danno uguali accrescimenti nel volume della sostanza, cessa di aver significato il dire per es. che il mercurio si dilata « uniformamente », e nel termometro a mercurio avremo così una scala arbitraria, data la quale, l'aria, per es. non si dilata uniformemente. Il primo ad avere idee chiare su questo argomento fu Lord Kelvin, il quale appunto, sin dal 1848, cioè un anno dopo il suo fortunato incontro con Joule, propose la sua *scala assoluta di temperatura*, una scala cioè che, basandosi su principi rigorosamente termodinamici, è indipendente dalle qualità particolari della sostanza termometrica impiegata. Definiva egli perciò *differenze di temperatura uguali* quelle della sorgente e del refrigerante in una macchina reversibile, quando il percento del lavoro prodotto da una data quantità di calore rimane lo stesso. Ma la scala che deriva da questa definizione è

assai differente da quelle ordinarie; i gradi di questa scala corrispondono sul termometro ad aria ad intervalli sempre più grandi col crescere della temperatura, e il zero corrisponderebbe all'infinito negativo. Però nel 1854 il Kelvin stabilì una scala assoluta di temperatura basandosi su di un altro teorema: « Le temperature di due corpi sono proporzionali alle quantità di calore rispettivamente ricevute da una sorgente alla prima temperatura, per mezzo di un ciclo completo di operazioni termodinamiche perfettamente reversibili, non potendo cedere o ricevere calore a qualunque altra temperatura; ossia, i lavori assoluti di due temperature sono tra di loro nella proporzione del calore perduto in una macchina termodinamica perfetta, animata da una sorgente e da un refrigerante tenuti rispettivamente alle più alte e alle più basse delle temperature che sono messe in giuoco. » Così definita la scala assoluta, restano semplificate immensamente le ricerche teoriche, mentre il termometro ad aria dà indicazioni abbastanza concordanti con essa. Ciò fu verificato dalle esperienze dello stesso Lord Kelvin e Joule, i quali trovarono, per es., per le temperature della fusione del ghiaccio e dell'ebollizione dell'acqua, che il rapporto del calore assorbito al calore ceduto da una macchina reversibile animata da queste temperature è uguale a 1,365; perciò se si assumono come limiti dell'intervallo 100 gradi, le temperature in questione sono 274° e 374° (1)

---

(1) Del Kelvin abbiamo sulla termodinamica una lunga serie di lavori dei quali molti fatti da solo, altri fatti in collaborazione col Joule. Dei primi ricordo:

« On account of Carnot's theory of the motive power of Heat with numerical results deduced from Regnault's experiments on steam ». *Edinb. Roy. Soc. Trans.*, XVI, 1849, pp. 541-574; *Annales de Chimie*, XXXV, 1852, pp. 248-255.

« On a remarkable property of steam connected with the theory of the steam-engine ». *Phil. Mag.*, XXXVII, 1850, pp. 386-389; *Pogg. Annal.*, LXXXI, 1850, pp. 477-480.

« On the dynamical theory of Heat ». *Phil. Mag.*, IV, 1852, pp. 8-21, 105-117, 168-176, 424-434; IX, 1855, pp. 523-531; XI, 1856, pp. 214-225, 281-297, 379-388, 433-416; *Annal. de Chimie*, XXXVI, 1852, pp. 118-124.

« On the mechanical action of radiant heat or light » *Phil. Mag.*, IV, 1852, pp. 256-260.

« On a universal tendency in nature to the dissipation of mechanical energy ». *Phil. Mag.*, IV, 1852, pp. 304-306; *Edinb. Roy. Soc. Proc.*, III, 1857, pp. 139-142

« Additional Note to T. P. Joule's paper on the Air-engine ». *Phil. Trans.*, 1852, pp. 78-82.

« Note on the mechanical action of heat, and the specific heats of air ». *Cambr. and Dubl. Math. Journ.*, VIII, 1853, pp. 250-256.

« On the dynamical theory of heat; with numerical results deduced from Mr. Joule's "Equivalent of a Thermal unit" and M. Regnault's "Observations on steam" ». [1851] *Edinb. Roy. Soc. Trans.*, XX, 1853, pp. 261-288; *Journ. de Math. de Liouville*, XVII, 1852. pp. 209-252.

Nel 1870 studiò l'influenza della tensione capillare pressione dei vapori salubri e ne diede la formola definitiva (1).

« On a method of discovering experimentally the relation betwen the mechanical work spent and the heat produced by the compression of a gaseous fluid ». [1851] *Edinb. Roy. Soc Trans.*, XX, 1853, pp. 289-298.

« On the dynamical theory of heat: — On the quantities of mechanical energy contained in a fluid in different states as to temperature and density ». [1851] *Edinb. Roy. Soc. Trans.*, XX, 1853, pp. 475-482.

« On the restoration of mechanical energy from an unequally heated space ». *Phil. Mag.*, V, 1853, pp. 102-105.

« On mechanical antecedents of motion, heat and light ». *Brit. Assoc. Reports*, 1854, pp. 59-63; *Edinb. New Phil. Journ.*, I, 1855, pp. 90-97; *Comptes Rendus*, XL, 1855, pp. 1197-1202.

« On the origin and transformations of motive power ». *Roy. Institution's Proc.*, II, 1854-58, p. 199-204; *Chemist*, III, 1856, pp. 607-612.

« On the dynamical theory of heat. — Thermo-electric currents ». [1854] *Edinb. Roy. Soc. Trans.*, XXI. 1857, pp. 123-172; *Edinb. Roy. Soc. Proc.*, III, 1857, pp. 91-98.

« On the thermal effect of drawing out a film of liquid ». *Roy. Soc. Proc.*, 1857-59, pp 255-256.

« Sur la thermodynamique ». *Comptes Rendus*, LIX, 1824, pp. 705-708.

« On an absolute thermometric scale founded on Carnot's theory of the motive power of heat, and calculated from Regnault's observations ». [1848] *Proc. of Phil. Soc of Cambridge*. I, 1866, pp. 66-71.

« On the dynamical theory of heat ». *Edinb. Roy. Soc. Proc.*, V, 1866, pp. 510-512.

« The kinetic theory of the dissipation of energy ». [1874] *Edinb. Roy, Soc. Proc.*, VIII, 1875, pp. 325-334; *Nature*, IX, 1874, pp. 441-444.

« On thermodynamic motivity ». [1876] *Edinb. Roy. Soc. Proc.*, XXVIII, 1879, pp. 741-744; *Phil. Mag.*, VII, 1879, pp. 348-352.

Delle memorie scritte in collaborazione con James Prescots Joule posso citare le seguenti:

« On the thermal effects experienced by air in rushing though small apertures ». *Phil. Mag.*, IV, 1852, pp. 481-492.

« On the thermal effects of elastic fluids ». *Phil. Mag.*, pp. 230-231, *Roy. Soc Proc.*. VI, 1850-54, pp. 331-332.

« On the thermal effects of fluids in motion ». *Phil. Trans.*, 1853, pp. 357-366; *Poggedorrf's Annalen*, XCVII, 1856, pp. 576-589.

« On the thermal effects of fluids in motion ». *Phil. Trans.*, 1854, pp. 321-364.

« On the thermal effects of fluids in motion. — On the temperature of solids exposed to currents of air ». *Roy. Soc. Proc.*, VIII, 1856-57, pp. 178-185.

« On the thermal effects of fluids in motion. — Temperature of a body moving slowly through air ». *Roy. Soc. Proc.*, VIII, 1856-57, pp. 41-42, 556-564.

« On the thermal effects of fluids in motion ». *Roy. Soc. Proc.*, X, 1859-60, p. 502.

« On the thermal effects of fluids in motion. — On changes of temperature experienced by bodies moving through air ». *Phil. Trans.*, 1860, pp. 325-336.

« On the thermal effects of elastic fluids ». *Brit. Ass. Rep.*, 1862, pp. 83-84.

« On the thermal effects of fluids in motion ». *Phil. Trans.*, 1862, pp. 579-589.

(1) La formola del Kelvin è

$$p = P \mp \frac{T\delta}{d - \delta} \cdot \frac{1}{\rho}$$

dove P è la pressione del vapore saturo su di una superficie liquida piana, d e δ sono

James Thomson, figlio, applicando i principi della Termodinamica alle leggi della fusione, provò nel 1850 per via puramente analitica, che nei corpi i quali come il ghiaccio diminuiscono di volume nel fondere ad ogni aumento di pressione doveva corrispondere un abbassamento della temperatura di fusione. L'anno stesso il fratello William sottopose alla verifica sperimentale questa legge teorica, seguendo il notissimo metodo riportato nei trattati elementari di Fisica. Stabilì così che in media all'aumento di pressione di un'atmosfera corrisponde un abbassamento del punto di fusione di 0,° 0075. Diede quindi la nota *teoria del rigelo* (1).

Il medesimo principio della conservazione dell'energia applicato alle correnti termo elettriche condusse Lord Kelvin al così detto *Effetto Kelvin*. La forza elettromotrice che ha origine in un arco bimetallico è funzione della differenza di temperatura delle due saldature che formano il circuito, e della media di queste due temperature. Nel rendersi conto dei fenomeni che accompagnano questo fatto, Lord Kelvin venne a scoprire (1854) che la forza elettromotrice che dà origine alla corrente non si ha solamente nelle saldature come si credeva in passato, ma che tutto il filo del circuito, per quanto omogeneo, se disegualmente riscaldato, è sede di forze elettro-motrici. La legge del fenomeno detta legge Kelvin stabilisce che « se gli estremi di un conduttore omogeneo sono mantenuti a temperature differenti t e t', esisterà in esso una forza elettromotrice propoporzionale a $t - t'$; il coefficiente di proporzionalità (*calore specifico di elettricità*) varia anch'esso con la temperatura » (2).

---

rispettivamente le densità del liquido e del vapore, T la tensione capillare superficiale, $\frac{1}{\rho}$ la curvatura in un dato punto, p la pressione del vapore in quello stesso punto della superficie curva. Il doppio segno $\mp$ vale a seconda che la superficie è concava o convessa. V. « On the equilibrium of vapour at a curved surface of liquid ». *Phil. Mag.*, XLII, 1871, pp. 448-452; *Edinb. Roy. Soc. Proc.*, VII, 1872, pp. 63-68.

(1) « The effect of pressure in lowering the freezing point water, experimentally demonstrated ». *Phil. Mag.*, XXXVII, 1850. pp. 123-127; *Ann. de Chimie*, XXXV, 1852, pp. 381-383; *Edinb. Roy. Soc. Proc.*, II, 1851, pp. 267-271; *Poggend., Ann.*, LXXXI, 1850, pp. 163-168.

(2) « Account of experimental researches in thermoelectricity ». *Brit. Ass. Rep.*, 1854, pp. 13-14.

« Aperçu des recherches relatives aux effects des courants électriques dans les con-

Ricordo soltanto, per brevità, le importanti ed originali ricerche teoriche del Kelvin sugli effetti termici che si hanno nei fenomeni di elasticità dei corpi ([1]).

I contribuiti che Lord Kelvin ebbe a portare nel campo della Termodinamica, già l'ho detto, formano indiscutibilmente l'opera più poderosa della sua attività di Fisico; ma sono i suoi assidui lavori nel campo pratico dell'elettricità, e specialmente della telegrafia, quelli che resero il suo nome noto in tutto il mondo, anche ai profani di scienza.

Nel 1849 Werner Siemns provò che « quando una corrente é mandata attraverso un corpo sommerso, una quantità di elettricità è ritenuta lungo l'intera superficie, rimanendo distribuita in proporzione delle tensioni in ogni punto ». Nel 1854 Faraday mostrò l'effetto di questa « carica elettrostatica » sui segnali inviati per mezzo di cavi sottomarini molto lunghi. Ma la teoria matematica completa delle segnalazioni telegrafiche, con formole, diagrammi di curve, e con gli elementi dell'investigazione sintetica per ogni caso possibile di operazioni pratiche è opera di Lord Kelvin, egli l'ha svolta nelle lettere del Novembre e Dicembre del 1854 dirette al Sir Gabriel Stokes, inserite nei *Proceedings of the Royal Society* ([2]). Grande incertezza regnava allora sulla velocita di trasmissione che si sarebbe raggiunta lungo un cavo che si protraesse (come il transatlantico) per circa 4000 Km, e la teoria di Kelvin veniva a proposito. Una corrente lanciata attraverso un cavo transatlantico non si rende sensibile, dall'uno all'altro estremo della condottura, prima di 2 decimi di secondo. Dopo 4 decimi di secondo si hanno solo i 7 decimi dell'intensità normale, la quale è raggiunta solamente dopo 3 secondi di tempo. Ciò è dovuto, come è noto, al fatto che il cavo costituisce un condensatore cilindrico

ducteurs inégalement échauffés, et à d'autres points de la thermo-électricité ». *Comptes Rendus*, XXXIX, 1854, pp. 116 119.

« Account of researches in thermo-electricity ». *Roy. Soc. Proc.*, VII, 1854-55, pp. 49-58.

([1]) « On the effects of mechanical strain on the thermo-electric qualities of metals ». *Brit. Ass. Rep.*, 1855, pp. 17-18.

« On thermo-elastic and thermo-magnetic properties of matter ». *Quarterly Journ. of Mathem.*, I, 1857, pp. 57-77.

« Thermo-elastic, thermo-magnetic and thermo-electric properties of matter ». *Phil. Mag.*, 1878.

([2]) « On the theory of the Electric Telegraph ». *Roy. Soc. Proc.*, VII, 1854-55, pp. 382-399.

che si carica a spese della corrente inviata. Come cause di ritardo andrebbero considerati gli effetti di autoinduzione, ma nelle linee sottomarine questi effetti sono trascurabili rispetto a quelli prima accennati. Si aggiunge poi che un secondo segnale non può essere inviato prima che il filo conduttore non sia interamente scarico, e questa fase dell'operazione è lunga, anche quando, per abbreviarla, si mette in comunicazione col suolo il filo di trasmissione, non appena lanciata la corrente. Fu per questo che quando si riuscì per la prima volta a congiungere l'Irlanda con Terranova, non si poteva trasmettere più di una parola a minuto. Vedremo ora con qual sistema W. Thomson arriverà a mandare dalle 15 alle 20 parole a minuto.

Lord Kelvin giunse a stabilire che l'intensità della corrente in questione è una funzione il cui solo parametro variabile è il quoziente $\frac{t}{c \cdot r}$, dove t, c, r indicano rispettivamente il tempo necessario a stabilire il regime di corrente, la capacità, la resistenza del circuito. Dedusse quindi che la durata del periodo variabile su diverse linee è proporzionale al prodotto della capacità per la resistenza, e se si tratta di cavi similmente costruiti, al quadrato della lunghezza della linea.

Ciò posto la telegrafia transoceanica diventava di un vantaggio assai dubbio sotto i punti di vista pratico e finanziario. Ma Lord Kelvin non si diede per vinto avanti a queste difficoltà ritenute insormontabili dai più. Egli cominciò dal migliorare la qualità del rame che formava le condutture [1] perchè avessero una gran conducibilità, e le rivestì poi di sostanze che, mentre le isolavano in modo quasi assoluto, erano dotate di un potere induttivo specifico piccolo il più possibiie. Creò in seguito (1858) il *Mirror Galvanometer*, e poi (1867) il *Siphon Recorder*, e così il sogno delle comunicazioni rapide tra l'America e l'Europa diventò un fatto compiuto. Questa meravigliosa realizzazzione costò dieci anni di lavoro tenace, di sacrifizi economici ingenti; e di tutto fu Lord Kelvin la mente direttrice. Egli stesso dirigeva spesso di persona i lavori e perciò nel 1857 s'imbarcò sul *Niagara* e sull'*Agamennon*, i piroscafi che posero quel primo cavo la

---

[1] Per dare un'idea dell'importanza di questa cautela egli racconta che nel 1857 e 1858 esaminò diversi campioni di rame fornitigli dai fabbricanti per il cavo transatlantico e per alcuni cavi mediterranei, tra i quali non si supponeva esistesse nessuna differenza. Sottoposti a misura le differenze di conducibilità raggiungevano il 37 per 100!

cui vita attiva si limitò a durare qualche settimana [1]. Nel 1865 e 1866 W. Thomson s'imbarcò nuovamente sul *Great Eastern* che portava il cavo che congiunse poi definitivamente l'Europa all'America. Il primo telegramma spedito dal presidente degli Stati Uniti annunziava che « il trionfo di William Thomson era più glorioso di qualsiasi vittoria riportata sui campi di battaglia ». Fu allora che il Thomson fu fatto cavaliere e diventò Sir.

Indipendentemente dalla sua applicazione alle segnalazioni telegrafiche, il « mirror galvanometer » è un apparecchio da laboratorio, che non la cede a nessun altro per prontezza e per sensibilità. Il Kelvin calcolò perfino la legge d'avvolgimento dei fili nei rocchetti di esso, a fine di ottenere il massimo di deviazione dell'ago magnetico, e trovò che la più opportuna disposizione è quella la cui sezione trasversale passante per l'asse dell'apparecchio soddisfa all'equazione

$$x^2 = \left(\frac{y}{a}\right)^{\frac{2}{5}} - y^2 .$$

Per accrescere vie più l'angolo di deviazione dell'ago, diminuì l'azione direttrice terrestre sull'ago magnetico, per mezzo di un altro ago orientato in senso inverso, e per mezzo di un *magnete direttore* collocato al disopra dell'avvolgimento [2]. Ponendo l'intensità della corrente proporzionale alla deviazione dell'ago, il che è sempre lecito per deviazioni non superiori a 3°, l'apparato di Kelvin diventa, oltre che un segnalatore telegrafico, un delicatissimo strumento di misura.

Ma per la telegrafia transoceanica non bastava la sensibilità estrema dell'apparecchio ricevente, bisognava per di più che l'indicazione iniziale fosse prontamente estinta, e a ciò fu provveduto dal Kelvin col lanciare prontamente dopo ogni segnale una corrente contraria che neutralizzza la prima.

Se pertanto il galvanometro a riflessione del Kelvin è un istrumento inappuntabile dal lato della sensibilità, ed utilissimo nelle operazioni di misura, non è senza inconvenienti quando lo si voglia adoperare per

---

[1] Dal 6 agosto al 6 settembre 1858.

[2] Si dice che l'idea del *mirror galvanometer* sia stata suscitata nella mente di Lord Kelvin da un caso affatto fortuito. Un giorno gli cadde dal naso il suo occhialino ed oscillò avanti a un magnete riflettendo nei suoi movimenti gli oggetti circostanti. Questo fatto semplicissimo lo portò a inventare un istrumento che doveva avvantaggiar tanto gli studi e la vita pratica!

comunicazioni telegrafiche; riesce infatti difficile e faticoso il seguire a lungo i movimenti del raggio riflesso dallo specchietto su di uno schermo, ed oltre a ciò nessuna traccia rimane dei segnali trasmessi. Anche a queste due difficoltà trovò modo di ovviare il genio di Lord Kelvin, ideando nel 1867 il suo *siphon recorder*, che perfezionò poi nel 1873.

Il « siphon recorder » consta di due parti: di un galvanometro ricevitore e di un apparato registratore. Il galvanometro può dirsi il diretto e immediato precursore dei galvanometri tipo d'Arsonval, oggi, tanto in uso; è formato infatti da una bobina sospesa ad un filo, messa in circuito e mobile tra le espansioni polari di un forte magnete. Attraversata dalla corrente si sposta e mette in moto la pennina dell'apparato registratore. Questa è formata da un sifoncino di cui un ramo più corto pesca nell'inchiostro, mentre l'estremo dell'altro ramo è prossimo ad una striscia di carta che gli scorre sotto. La registrazione si effettua con attrito trascurabile perchè l'inchiostro, elettrizzato da una specie di *replenisher* (altra invenzione di Kelvin), è attratto dalla carta senza che l'estremo del sifone la tocchi.

Vedremo che a Lord Kelvin son dovuti ancora altri squisitissimi strumenti di misura.

Quando nel 1851 Wilhelm Weber propose l'estensione all'elettromagnetismo del sistema di *unità assolute* (1) ideato dal Gauss nel 1832 (2), il Kelvin trovò bella la proposta e si mise subito all'opera per secondarla. Pubblicò perciò una prima memoria (3) in cui dimostra che la forza elettromotrice dell'azione elettrochimica è uguale al momento dinamico di tutte le trasformazioni chimiche prodotte nell'unità di tempo da una corrente di intensità uguale ad 1. Applicando il principio della conservazione dell'energia calcolò poi in unità assolute la forza elettromotrice dell'elemento Daniell, determinò poi la misura assoluta della resistenza di un filo deducendola dalla quantità di calore sviluppato in esso da una corrente di data intensità (4). Nel 1861 fu proprio il Kelvin che indusse la *Britsh Association* e la *Royal Society of London*

---

(1) « Elektrodynamische Massbestimmungen ». Leipzig.

(2) « Intensitas vis magneticae terrestris ad mensuram absolutam revocata ».

(3) « On the mechanical theory of electrolysis ». *Phil. Mag.*, II, 1851, pp. 429-444.

(4) « Applications of the principle of mechanical effect to the measurement of electromotive forces and of galvanic resistances in absolute units ». *Phil. Mag.*, II, 1851, pp. 551-562.

a costituire il famoso comitato per la determinazione dei campioni elettrici, e ai suoi suggerimenti, si devono molti dei lavori capitali fatti dal Clerck Maxwell, Balfour Stewart e Fleming Jenkin, membri del comitato. Nel 1862 ideò un metodo per la determinazione dell' *Ohm*, metodo che fu adottato dalla « British Association », e che servì nel 1883 per la costruzione dei campioni industriali ([1]).

L'Helmholtz, aveva già (1847), nella sua famosa memoria *Erhaltung der Kraft*, considerata la scarica d'un condensatore come una serie di scariche succedentisi in sensi opposti, ma lo studio analitico della scarica dei condensatori è dovuto a Lord Kelvin. Egli sin dal 1853 stabilì in modo ben definito il carattere oscillatorio della scarica elettrica, e diede quella famosa formula che lega il periodo della scarica oscillante alla capacità del condensatore ed all'auto-induzione ([2]). Come si sa, è essa il fondamento della serie importantissima dei lavori dell'Hertze e del Lodge che condussero alla telegrafia senza fili.

Studiando poi il modo di trasmettersi delle scariche dei condensatori attaverso un conduttore, dopo avere stabilite le relative equazioni differenziali, che si sogliono indicare col nome di *equazioni di Kelvin*, dimostrò che quando la frequenza n di una corrente, ed il diametro d del conduttore hanno valori notevoli, è massima la densità della corrente alla superficie, è praticamente nulla sull'asse ed a certa distanza da esso; così che, e per n e d grandissimi, la corrente è localizzata in un piccolo strato periferico (*skin-effect*). Questo fenomeno è, come è noto, di capitale importanza negli impianti elettrici industriali, e nella scelta dei conduttori pei parafulmini.

Gli studi sull'elettricità atmosferica iniziati dal Kelvin dal 1856, oltre che portare alla scienza largo contributo di osservazioni, gli diedero il destro di escogitare metodi di osservazione eleganti e rigorosi, rimasti ancora i migliori ([3]). Egli sostituì alle misure soggettive,

---

([1]) « On the measurement of electric resistance ». *Roy. Soc. Proc.*, XI, 1860 62, pp. 313 329.

« On a new instrument for measuring electric resistance in absolute units ». *Glasgow, Phil. Soc, Proc.* V, 1864, pp. 167-168.

([2]) La formola $T = 2\pi\sqrt{cL}$, dove T è il periodo della corrente oscillante, c la capacità del condensatore, L il coefficiente di auto-induzione. V. « On transient electric currents ». *Phil. Mag.*, V, 1853, pp. 393-405.

([3]) Fu caratteristica dei trovati del Kelvin la loro bontà intrinseca, tale da permettere assai di rado pronti perfezionamenti alle produzioni di lui. Così nel 1873 egli pubblicò una memoria sugli elettromagneti che da 23 anni era rimasta manoscritta, senza che il

le registrazioni permanenti ottenute per mezzo della fotografia, ricorse per livellatore di potenziale al suo *sgocciolatore ad acqua* (water dropper) od anche, specie in inverno, ad un piccolo rotolo di carta inzuppata di nitrato di piombo, che brucia senza fiamma (smouldering touch-paper); per apparecchio di misura usò uno dei suoi tanti elettrometri, specialmente quello portatile e quello a quadranti di cui parlerò in seguito. Fra le determinazioni di questo genere dovute al Kelvin, sono notissime quelle fatte nell'isola di Arran e in Aberdeen [1].

Tra le ricerche teoriche nel campo dell'elettricità, ricordo la sua teoria della *piroelettricità*. Egli suppone che i cristalli piroelettrici con un asse di simmetria polare siano in uno stato di permanente e uniforme polarizzazione dielettrica secondo l'asse. Un tale cristallo è quindi paragonabile ad un magnete permanente, e perciò l'intensità di questa naturalé polarizzazione dielettrica è una funzione della temperatura [2].

In una reazione elettrolitica all'assorbimento di energia, corrisponderà un abbassamento di potenziale nel senso della corrente, misurato dalla forza elettromotrice di polarizzazione. Kelvin dedusse da questa considerazione la nota *legge dell'elettrolisi detta di Kelvin* espressa dalla formola: $e = pc$, dove e è la forza elettromotrice di polarizzazione, p è l'equivalente elettrochimico dell'elettrolito, e c è il valore di combinazione dell'unità di peso di esso [3].

---

progresso della scienza in questo lungo periodo di tempo avesse sminuito il suo valore n alcuna parte, e senza che il tempo avesse potuto toglier niente della primitiva freschezza.

(1) « On Dellman's method of observing atmospheric electricity ». *Brit. Ass. Rep.*, pp. 17-18.

« On atmospheric electricity ». *Roy. Inst. Proc.*, III, 1858-62, pp. 277-290.

« On the necessity for incessant recording, and for simultaneous observations in different localities, to investigate atmospheric electricity ». *Bri. Ass. Rep.*, 1859, pp. 27-28.

« Notes on atmospheric electricity ». *Brit. Ass. Rep.*, 1860, pp. 53-54; *Phil. Mag.*, XX, 1860, pp. 360-363.

« On instruments and methods for observing atmospheric electricity ». *Glasgow, Phil. Soc. Proc.*, II, 1860, pp. 274-280.

« Observations on atmospheric electricity ». *Manchester, Phil. Soc. Proc.*, II, 1860-62, pp. 204-207.

« De l'électricité atmosphérique ». *Annales de Chimie*, VII, 1866, pp. 148-172.

« Électricité atmosphérique ». *Ann. de Ch.*, XI, 1877, pp. 86-106.

(2) « Sui fenomeni magneto-cristallini ». *Nuovo Cimento*. IV, 1856, pp. 192-198.

« Thermo-electric, Division I. — Pyro-Electricity, or Thermo-Electricity of non-conducting Crystals ». *Cyclopaedia of phisical Science*, 1860.

(3) « On the mechanical theory of electrolysis ». *Phil. Mag.*, II. 1851, pp. 551-562.

Se oggi non v'è chi dubiti seriamente sulla esistenza dell'elettricità svolta dal semplice contatto di due metalli, ciò è dovuto in massima parte alle delicate esperienze condotte con gli squisiti elettrometri di Lord Kelvin (1). E notissima tra queste la classica esperienza detta dell'*anello diviso.*

Non è possibile, in un lavoro d'intenti sì modesti quale è il mio, seguire anche superficialmente Lord Kelvin in tutte le sue indagini teoriche, voglio però accennare all'applicazione ch'egli fece delle teorie del Fourier all'elettricità. Cavendish e Poisson avevano studiata la distribuzione dell'elettricità alla superficie dei conduttori. Fourier aveva studiato il movimento del calore e l'equilibrio delle temperature nei solidi. I primi due partivano dall'ammettere che due molecole di elettricità operano l'una su l'altra in ragione inversa dei quadrati delle distanze. Fourier fondava il suo calcolo sull'ipotesi che lo scambio di calore tra due molecole contigue è proporzionale alla differenza delle loro temperature. Lord Kelvin cominciò dal provare che sebbene le due questioni trattate dal Cavendish e Poisson e dal Fourier si presentino a primo aspetto differenti, possono identificarsi matematicamente. Se nei dati primitivi del Fourier si sostituiscono ad alcune quantità, altre che sono funzione dell'elettricità, quei bellissimi metodi, che Lord Kelvin chiamava con le parole del Maxwell « un gran poema matematico », e che Fourier aveva creati per questioni di temperature, diventano validi per questioni di elettricità. Con ciò Lord Kelvin era il primo ad introdurre in matematica l'idea di un trasporto d'azione elettrica in un mezzo continuo, escludendo cioè l'*actio in distans.* L'idea era del Faraday, ma i matematici la trovavano incompatibile con le leggi stabilite dal Coulomb ed applicate dal Poisson; il Kelvin, men che diciottenne, metteva così l'accordo tra i risultati dei matematici e le idee che eran racchiuse sotto i modi di dire: *linee di forza*, *induzione,* ecc. introdotti dal Faraday (2)!

Applicando il metodo di Newton alla teoria dell'attrazione, Lord Kelvin venne inoltre a stabilire il metodo delle *imagini elettriche* (3) e

(1) « On a method of measuring contact electricity ». *Brit. Ass. Rep.*, 1880, pp. 494-496; *Nature*, XXIII, 1881, pp. 567 568.

(2) V. la memoria citata: « On the uniform motion of heat », etc.

(3) « On electrical images ». *Brit. Ass. Rep.*, 1842, pp. 6 7. — Come è noto, Kelvin intende per *imagine elettrica* una carica o un sistema di cariche elettriche posto in una regione di una superficie elettrizzata, che produce in un'altra regione di questa stessa

da questo fu condotta all'altro delle *inversioni elettriche*, metodo questo noto ai geometri quanto ai fisici sotto il nome di metodo dell'inversione dei raggi vettori.

Delle indagini di Kelvin nel campo dell'elettricità voglio ricordare anche la scoperta fatta da lui dell'elettrizzamento *per gorgoglìo*. Egli dimostrò nel 1894 che l'aria atmosferica dopo aver gorgogliato nell'acqua possiede una carica elettrica che è negativa quando l'aria ha attraversato aria pura o quasi pura, e che va annullandosi e finisce per diventar positiva quando l'aria è mescolata ad impurità acide e saline [1].

Studiando il comportamento delle conduttività elettrica dei metalli quando sono portati in un campo elettrico trovò che il ferro e il nichelio accrescono la loro resistenza nel senso delle linee di forza, la diminuiscono nella direzione perpendicolare ad esse.

Debbo accennare almeno al valido contributo che il Kelvin diede allo sviluppo dell'*Idrodinamica*. Questo, che è uno degli argomenti più astrusi delle matematiche applicate. fu per il Kelvin uno di quelli per cui ebbe le più grandi simpatie Sin dal 1847 pubblicò una memoria [2]. seguita da due altre negli anni 1848 e 1849 [3], le quali tutte sebbene destinate agli studenti hanno non poca originalità. Riprese poi l'argomento nel 1863, e tratto tratto in appresso, con note interamente originali. il cui contenuto forma una buona parte delle cognizioni che oggi si hanno su questo ramo della matematica [4].

---

superficie il medesimo campo elettrico che è prodottto dall'elettrizzazione attuale della superficie.

[1] « Electrification of Air and other Gases by bubbling trhought water and other liquids » *Proc. Roy. Soc.*, LVII, 1894, p. 335; *Phil. Trans*. 1898.

[2] « Note on Hydrodynamics, 1, on the equation of continuity ». *Camb. and Dubl., Math. Journ.*, II, 1847, pp. 282-286.

[3] « Note on Hydrodynamics, 2, on the equation of the bounding surface ». *Ibid.*, III, 1848, pp. 89-93.

« Note on Hydrodynamics. On the vis viva of a liquid in motion ». *Ibid.*, IV, 1849, pp. 90-94.

[4] Dynamical problems regarding elastic spheroidal shells and spheroids of incompressible liquid ». *Phil. Trans.*, 1863, pp. 583-616.

« On the nature and motions of vortex filaments ». *Phil. Mag.*, XXXVIII, 1867, pp. 511-512.

« On vortex atoms ». *Phil. Mag.*, 1867, pp. 15-24.

« On vortex motion ». *Edinb. Roy. Soc. Trans.*, XXV, 1869, pp. 217-260; *Edinb. Roy. Soc. Proc.*, VII, L872, pp. 576-577.

« Hydrokinetic solutions aud observations ». *Phil. Mag.*, XLII, 1871, p. 362-367.

Se volessi, ora, solamente accennare agli istrumenti inventati da Lord Kelvin, dovrei uscire dai limiti impostimi dalla natura del presente scritto, mi contenterò dunque di far parola di qualcuno dei principali, oltre i già accennati, tanto più che si tratta di apparecchi noti data la loro generale divulgazione.

Se si hanno due dischi, uno fisso, isolato e carico d'elettricità, ed uno mobile, in comunicazione con la terra, il potenziale V del primo disco è dato da $V = d\sqrt{\frac{8\pi P}{S}}$, dove d è la distanza, S l'area del disco mobile e P la forza che lo trae. Questa formola portò Lord Kelvin (1867) alla costruzione del suo *elettrometro assoluto*, a cui egli diede svariatissime forme, e la cui descrizione si trova in tutti i trattati scolastici. Nella formola precedente la densità elettrica del disco mobile si suppone perfettamente costante, e per renderla tale il Kelvin ideò l'*anello di guardia* (*guard-ring*). Bisognava poi, per il paragone dei potenziali, disporre d'una sorgente che stesse ad un dato potenziale, invariabile, e Lord Kelvin vi provvide inventando il *riproduttore di carica* (*replenisher*) che è una vera e propria macchina elettroforica.

Più usato dell'elettrometro assoluto è *quello a quadranti* accennato prima, nel parlare dell'elettricità atmosferica, ma della sua teoria e costruzione è superfluo dire, tanto è conosciuto. Sul principio dell'elettrometro a quadranti è fondato il suo *voltmetro multicellulare* destinato ad usi industriali (1890), ed il *voltmetro elettrostatico per alte tensioni*.

Fondandosi sulle azioni mutue tra le parti mobili e fisse di uno stesso circuito scoperte da Ampère, Lord Kelvin inventò la *bilancia elettrodinamica*, una bilancia in cui il giogo porta ad ogni suo estremo un rocchetto mobile posto tra due altri fissi. I sei rocchetti così disposti sono percorsi dalla corrente in modo che uno dei rocchetti mobili tende, per azione elettrodinamica, a salire mentre l'altro tende

---

« Waves under motive power of gravity and cohesion jointly, without wind ». *Phil. Mag.*, XLII, 1871, pp. 374-377.

« On the processional motion of a liquid ». *Brit. Ass. Rep.*, 1876, pp. 33-35.

« Vortex statics » *Edinb. Roy. Soc. Proc.*, IX, 1878, pp. 59-73; *Phil Mag.*, X, 1880, pp. 97-100.

« On an experimental illustration of minimum energy in vortex motion ». *Brit. Ass. Rep.*, 1880, pp. 491-492; *Nature*, XXIII, 1881, pp. 69-70.

a scendere. Per mezzo di pesi mobili su di un' asta graduata connessa parallelamente al giogo, si rimette questo in posizione orizzontale ed allora la intensità i della corrente è data dalla relazione $i = k\sqrt{p}$, dove k è una costante di proporzionalità e p è il peso impiegato.

Nel 1873 il Kelvin fu invitato a scrivere una serie di articoli per il *Good Words* intorno alla bussola nautica. Egli scrisse il primo articolo, ma lo studio di questo argomento gli fece sórgere tanti problemi in mente, che solo dopo alcuni anni si decise a scrivere il secondo. In quegli anni Kelvin aveva trasformata la bussola marina, creandone una (1876) che ha finito per sostituire tutte l'altre. Le bussole marine in uso prima delle innovazioni del Kelvin erano formate da aghi lungi e di gran momento magnetico, e ciò per aumentare il momento della coppia direttrice. Lord Kervin dimostrò che sotto tutti gli aspetti è più vantaggioso ridurre le dimensioni degli aghi ed il loro momento magnetico, e perciò costruì la sua bussola con una serie di aghi piccoli e paralleli collegati con fili di seta ad una rosa assai leggera di carta o di mica, sicchè tutta insieme la parte mobile pesa 30 grammi. Sebbene la magnetizzazione degli aghi sia in questo modo assai debole, il momento d'inerzia del sistema è abbastanza piccolo perchè la posizione di equilibrio sia presto raggiunta.

Oggi lo studio del'a profondità dei mari è estesamente praticato, oltrechè per motivi di pura scienza, per gl'impianti di telegrafia sottomarina, e lo *scandaglio* del Kelvin rese per questo riguardo servigi segnalati. Esso consiste essenzialmente in un filo da pianoforte, galvanizzato e avvolto attorno ad un cilindro [1]; ad un suo estremo è applicato, insieme con un peso, un apparecchio manometrico che per mezzo di un indice registra automaticamente la pressione e dà così la profondità.

Sono degni d'esser menzionati accanto alla bussola marina ed allo scandaglio, il *tide gauge* ed il *tide predictor* di Kelvin, apparecchi tanto preziosi per lo studio delle maree.

A proposito dei lavori fatti dal Kelvin in servizio della navigazione, vanno citate le sue *Tavole per semplificare il metodo di Sumner* per la determinazione della posizione di una nave in mare (1876).

---

[1] La sostituzione del filo di pianoforte al canapo usato prima ha una grande importanza negli scandagli, poichè essendo l'attrito attraverso l'acqua diminuito di molto, si raggiunge una assai maggiore prestezza nelle determinazioni.

Già Jacob Amsler aveva, sin dal 1856, trovato il modo di ottenere per via meccanica l'area, il centro di gravità, il momento d'inerzia d'una figura piana, e lo sviluppo d'una funzione in serie trigonometrica. Lord Kelvin nel 1876 riprese questo problema, ed in alcune memorie presentate alla « Royal Society » descrisse un istrumento per calcolare meccanicamente l'integrale del prodotto di due funzioni date, ed espose la integrazione meccanica delle equazioni lineari di secondo ordine di coefficienti variabili e la integrazione della equazione differenziale generale di qualunque ordine a coefficienti variabili Uno di questi integratori meccanici fu dal Kelvin applicato nel 1878 allo studio delle maree e forma il *tide harmonic analyser*.

Non v'è fisico che non conosca i numerosi metodi di misura che, specialmente nel campo dell'elettricità, furono escogitati da Lord Kelvin; è inutile quindi parlare del metodo del *doppio ponte* per la misura delle resistenze, dei metodi Kelvin per determinare la resistenza di un galvanometro, per la determinazione della resistenza interna di una pila, per la determinazione della capacità di un condensatore, ecc.

Nel campo dell'elettricità industriale è continuamente applicato il *principio della economia massima* del Kelvin riguardante le condutture. Se in un impianto si adopera molto rame nelle condutture, sarà poca l'energia che si spreca lungo la linea, ma l'utile economico che ne deriva per questa parte, viene ad essere diminuito dall'interesse e dalla quota d'ammortamento corrispondente al capitale impiegato nella costruzione. Impiegando minore quantità di rame si ha una perdita di lavoro lungo la conduttura, e quindi una diminuzione d'utile. Lord Kelvin si propose il problema di trovare le condizioni per cui fosse minima la somma del costo dell'energia spesa sulla linea, e dell'interesse aumentato della quota di ammortamento del capitale impiegato nel rame; e lo risolse [1] rendendo un segnalato servizio all'industria.

---

[1] Se s è la sezione della conduttura, per avere l'economia massima dovrà essere soddisfatta alla relazione

$$s = I\sqrt{\frac{\rho t p}{n q}},$$

in cui I è l'intensità della corrente, ρ la resistenza specifica del metallo impiegato, p il costo di un watt-ora che si voglia produrre in più, q la quota d'ammortamento, ed n una costante. « V. On the economy of metal in conductors of electricity ». *Brit. Ass Rep.*, 1881, pp. 526-528.

Risolvere il problema fondamentale della Fisica, quello cioè dell'ultima costituzione della materia, fu la sola meta che non fu dato di raggiungere a Lord Kelvin, per quanto egli vi si fosse immerso dando prova di quella profondità ed eleganza di concezione che sono caratteristiche delle menti superiori. « La materia è o non è elettricità? È essa un fluido continuo che riempie gli spazi intermolecolari, o è raggruppata molecolarmente? E tutta la materia continua e la sua eterogeneità consiste in movimenti finiti, in vortici, o in altri moti relativi delle particelle contigue dei corpi? Noi non possiamo niente decidere su questi problemi, che forse sono insolubili allo stato attuale della scienza ». Così scriveva William Thomson nel 1856. Il problema fu per lui vasto campo di investigazione matematica, ed egli partendo da alcuni teoremi riguardanti il movimento di un fluido perfetto incompressibile, stabiliti dall'Helmholtz, potè venire all'ipotesi che tutto l'universo fosse pieno di un fluido primordiale che noi non possiamo conoscere in se stesso. ma che percepiamo come materia quando le sue parti assumono un particolare moto vorticoso.

A spiegare i fenomeni di elettricità e magnetismo per mezzo dei fenomeni elastici dello stesso etere che dà la spiegazione dei fenomeni luminosi, egli imaginò l'etere come una sostanza assolutamente incompressibile che si muove come un fluido, e che perciò non oppone nessuna resistenza alla deformazione, cosicchè non ha per nulla elasticità. Invece, alla rotazione di un suo elemento di volume esso deve opporre una resistenza proporzionale alla grandezza della rotazione. Questa proprietà egli la chiamò *quasi rigidità* dell'etere, e da questa ipotesi trasse le equazioni fondamentali della teoria dell'elasticità del Maxwell [1]. Ciò che però William Thomson aveva detto nel 1856 non è diverso da ciò che Lord Kelvin, dopo 40 anni di studi e di ricerche, diceva nel 1896, quando festeggiato da tutto il mondo civile rispondeva con geniale franchezza: « Una parola basta per riassumere i risultati degli sforzi che io perseverantemente ho fatti in 55 anni per l'avanzamento della scienza. Questa parola è *insuccesso.* Io non conosco oggi di forza elettrica e magnetica, o di relazione tra etere, elettricità e materia ponderabile, o di affinità chimica, più di quel che sapevo e che cominciavo ad insegnare ai miei studenti nella mia prima lezione! »

---

[1] V. le memorie di Idrodinamica sopra citate.

Ho accennato a principalissime opere scientifiche di Lord Kelvin, ma assai di più resterebbe a dire. Nel campo della fisica può applicarsi degnamente a lui il

nihil erat quod non tetigit, nihil quod tetigit non ornavit.

Non vi fu infatti ramo delle ricerche fisiche ch' egli non abbia affrontato, e nessuno in cui non abbia lasciata orma del suo intelletto. Del resto questa meravigliosa sua versatilità risponde ancora al concetto ch'egli aveva della universalità della scienza, concetto che lo rendeva intollerante di conclusioni che, tratte da un limitato campo di studi, non s'accordavano con conclusioni accertate più generali. A questo proposito egli rispondeva a quei geologi che trovavano i suoi scritti troppo difficili e a loro inaccessibili, che non poteva rassegnarsi ad ammettere che vi fosse una scienza pel matematico, un'altra pel chimico, un'altra pel fisico ed una pel geologo. Tutte le scienze, ei diceva, sono una scienza, e ogni parte di scienza che traesse se stessa fuori del territorio delle altre scienze, cesserebbe al presente di essere scienza.

Un'idea prossimamente adequata dell'enorme contributo che, sia nel campo delle pure concezioni teoriche, sia in quello delle applicazioni pratiche della scienza, ha portate Lord Kelvin, è possibile farsela solo dalla lettura o dalla particolareggiata relazione delle sue più che trecento memorie originali. Ma lo studioso che le avrà lette tutte, diceva un suo discepolo, poco conoscerà ancora di Lord Kelvin se egli non avrà parlato con lui faccia a faccia. Lord Kelvin uomo, era eminentemente modesto, estremamente amorevole, e di una semplicità di tratto che incantava.

E fu la grande espansività di Lord Kelvin quella che oggi dà il vanto all'Università di Glasgow di aver avuto per prima un laboratorio fisico d'istruzione. Sin dal 1845, quand'egli diventò professore in quella Università, invitò i suoi allievi a prestargli mano nelle sue ricerche originali, ed altri non suoi ammise come volontari. Sebbene ad uso di laboratorio non vi fossero allora altri locali che quelli di una antica cantina, le ricerche degli studenti di Kelvin furono, sin dai primi tempi, di non mediocre importanza. Ci narra egli stesso: « Tre o quattro dei miei sperimentatori volontari solevano essere studenti che cominciavano gli studi teologici dopo aver compiuto il corso di filosofia. Io ben ricordo la sorpresa di un gran professore tedesco

quando sentì di questo sistema. “ Che i teologi imparano fisica? „ disse egli, ed io risposi: “ Sì, proprio così, ed alcuni di essi hanno fatto esperienze d'importanza capitale „ ».

Se Kelvin fu sommo fisico ed eminente maestro di ricerca sperimentale, non pare che fosse sempre facile espositore. Ordinariamente è piuttosto oscuro, e si direbbe ch'egli abbia voluto scherzare quando intitolava « Popular Addresses » due volumi in cui sono raccolte alcune sue memorie accessibili appena a valenti professori. Ciò era perchè egli non sempre riusciva a pensare che altri potesse non sapere quanto per lui era di rudimentale intuizione. Un giorno egli fece una magistrale lettura sull'aria, alla « Royal Institution ». Egli la supponeva formata di innumerevoli particelle poliedriche, aventi ciascuna 14 faccie, e a un certo punto, per maggior chiarezza, fece passare per l'uditorio un complicato meccanismo di fili destinato ad illustrare la sua teoria; le persone che assistevano guardarono attentamente, e la conferenza fu proseguita. Quando Lord Kelvin ebbe finito, si rivolse ad un suo amico e ammiratore ch'era presente: « Spero che la conferenza sia riuscita interessante ». « Sarebbe senza dubbio riuscita tale, se fosse stata compresa » gli fu risposto. Kelvin che, senza avvedersene aveva passati i limiti di cultura del suo uditorio, quasi umiliato, ne rise bonariamente.

Amava egli di gran cuore la scuola e gli scolari, con i quali era socievolissimo e del cui avvenire s'interessava vivamente. In mezzo ad essi egli si considerava per uno di loro, ed ebbe a dirlo solennemente nella circostanza di un discorso nel 1891: « Io sono stato studente dell'Università di Glasgow per 55 anni, e spero di continuare come studente finchè avrò vita ».

Tenne la cattedra di Filosofia Naturale a Glasgow per 53 anni, cioè dal 1846 al 1899 quando si ritirò dall'insegnamento.

Newton, Joung, Faraday, Clerk Maxwell, Tait, Stokes, e altri molti, formano tutti una serie di fisici inglesi tanto valorosi quanto credenti. In questa serie gloriosa va annoverato il nostro Kelvin. Egli sentì sempre come una imperiosa esigenza, non solo del sentimento ma ancora dell'intelligenza l'ammettere una mente superiore dalla quale hanno principio le leggi che regolano l'universo. « Nè la matematica, nè la dinamica ci assistono più, allorchè ci facciamo a contemplare la terra divenuta bensì atta alla vita, ma senza di essa, e ci sforziamo di imaginare il principio della vita sulla terra medesima. Essa indub-

biamente non potè aver luogo a mezzo di una qualsiasi azione chimica od elettrica, o di raggruppamenti cristallini di molecole sotto l'influenza di forze, o per un qualsiasi fortuito concorso di atomi. Siamo obbligati ad arrestarci faccia a faccia col mistero e col miracolo della creazione degli esseri viventi. » Queste parole con cui Lord Kelvin conclude una sua memoria pubblicata nel 1898, rappresentano nel miglior modo il pensiero suo riguardo all'esistenza di Dio, ed egli stesso volle sottolinearle nel mandare alla nostra Accademia la pubblicazione che le contiene. In una lettera ad un amico egli scriveva: « Io non ho mai letto nessun libro di teologia, essendo interamente occupato con la scienza che io trovo piena dell'evidenza di Dio. »

L'Accademia nostra lo ebbe tra i suoi soci corrispondenti stranieri sin dal 10 Luglio 1853 ([1]), cosicchè egli era diventato decano dell'Accademia, la quale mostrò chiaramente il gran conto che faceva di lui, quando nella pubblica seduta del 21 febbraio 1904 fu unanime nell'acclamarlo, e volle che il Segretario gli esprimesse i sentimenti di ammirazione e le cordiali felicitazioni pel compiuto cinquantenario di Lincealità. E se l'Accademia nostra tenne in gran conto il sommo fisico inglese, che questi non fu da meno nel ricambiarla, lo prova la lettera seguente ([2]) ch'egli ebbe occasione d'inviare al nostro ch. Collega Comm. Ing. Augusto Statuti, allora nostro segretario:

Neterhall - Largs, Ayrshir
6 febbraio 1904.

Egregio Signore,

Ho aspettato a rispondere alla sua gentile lettera del 1° gennaio finchè io potessi mandarle, secondo la sua domanda, copia di qualche mia memoria pubblicata. Cosa che

---

([1]) Nella lista dei soci corrispondenti stranieri di molte annate degli Atti dell'Accademia (precedenti al 1871) William Thomson figura nominato il 2 maggio 1858. Ciò è errato perchè egli fu proposto dal Consiglio accademico, insieme ad Ohm, Gauss, Poinsot, Foucault, Regnault, Grove, Pouillet ed altri, il 6 febbraio del 1852; fu nominato poi il 10 luglio 1853. V. *Atti*, 1852 e 1853

([2]) Debbo la comunicazione di questa lettera alla gentile premura del comm. Statuti, al quale colgo qui l'occasione per rendergli vivi ringraziamenti.

Riproduco in nota il testo originale inglese della lettera:

Neterhall
Largs, Ayrshire
5th. February 1904,

Dear Sir,

I are delayed answering your kind letter of January 1st. until I should be able to send you, according to your request, copies of some of my published papers. This I now do.

fo adesso. Le spedisco per posta oggi stesso tutti gli estratti delle mie memorie che ho potuto trovare. Spero che saranno gradite, ed io sarò orgoglioso se saranno accolte dall'Accademia come un piccolo segno della mia gratitudine per l'onore che mi conferiva nel 1853 con l'eleggermi socio corrispondente.

In una delle dette memorie intitolata « The Age of the Earth as an abode fitted for Life » ho sottolineato il periodo con cui conchiudo, che io credo debba riuscire alquanto interessante per lettori, che non si occupano delle questioni di matematica e di fisica matematica che formano l'oggetto principale di quella e delle altre memorie speditele. Ringrazio moltissimo degli auguri felici pel nuovo anno, che lei m' ha espressi nella sua lettera del 1° gennaio, e che io cordialmente ricambio.

Io ho anche molto gradito la sua gentilezza d'essersi disturbata a scrivermi in inglese.

Voglia lei trasmettere i miei vivi ringraziamenti ai Membri dell'Accademia per il loro molto gentile messaggio che lei mi ha comunicato nella sua lettera del 30 dicembre.

Mi creda

Suo devotissimo
KELVIN.

Nel giugno del 1896 Lord Kelvin celebrava il giubileo del suo professorato all'Università di Glasgow. Accorsero allora delegati da tutte le parti del mondo civile. Nell'Università di Glasgow furono allora ricevute 2500 persone, tra cui vi erano molti dei più eminenti rappresentanti della scienza inglese e straniera. Essi vollero da Glasglow spedire, per Glasgow stesso, un telegramma di felicitazioni al Kelvin, facendolo però arrivare per la via di Terranova, New York, Chicago, San-Francisco, los Angeles, Nuova Orleans, Washington, per ricordare la telegrafia transoceanica, opera precipuamente a lui dovuta.

I am sending you by book post despatched to day all the separate copies of my papers which I can find. I hope that they may be found acceptable, and I shall be proud if they are accepted by your Academy as a slight mark of my gratitude for the honour it conferred on me in 1853 by electing me to be one of its Corresponding Members.

In one of these papers entitled « The Age of the Earth as an abode fitted for Life ». I have marked its concluding sentence, which I think may be found to possess some interest for readers, who do not enter on the question of mathematics and mathematical physics, which form the chief subiect treated in this, and other of the papers, which I am now sending to you.

I thank you very much for the good wishes for the New Year expressed in your letter of January 1st, which I heartily reciprocate. I also appreciate much your kindness in taking the trouble to write to me in English.

Will you convey my best thanks to the Members of the Academy for their very kind message, which you convey to me in your letter of December 30th.

Believe me

Yours very truly
KELVIN.

Al Signor
Augusto Statuti.

Gli onori che durante la sua vita vennero con profusione attribuiti a Lord Kelvin furono pari alla grandezza della sua opera. Tutti i più rinomati Istituti scientifici e le Accademie più illustri si fregiarono del nome di lui. Egli fu nel 1891 presidente della « Royal Society » carica che dai tempi di Newton in poi rappresenta il posto più alto cui possa aspirare uno scienziato. Era dottore *honoris causa* della Università di Dublino, di Cambridge, di Edinburgh, di Montreal, di Oxford. Fu nominato pari nel 1872, e Lord Salisbury, nel conferirgli la dignità, tolse il titolo di Kelvin dal delizioso ruscello che scorre sotto quella Università in cui Thomson aveva spiegato la sua efficace attività di maestro e che amava sì fortemente. Nel 1904 fu eletto gran Cancelliere dell'Università di Glasgow. Non si finirebbe a voler citare qui le onorificenze grandi e piccole che ebbe Lord Kelvin, quindi non aggiungo altro su questo punto.

Diresse egli stesso una officina per la fabbrica dei suoi strumenti, a casa " Kelvin and James White, Ltd. „ di Glasgow, la quale mantiene occupati 250 operai.

Sebbene abbia sposato due volte, fu senza figli. Nel 1852 egli aveva sposato Margherita, figlia di Walter Crum, che morì nel 1870. Quattro anni appresso mentre viaggiava verso Pernambuco su di una nave per fare alcuni scandagli a grandi profondità, conobbe Miss. Frances Anna, figlia di C. R. Blandy di Madera. In questo secondo matrimonio fu particolarmente fortunato. Le rare virtù che adornavano Lady Kelvin valsero a procurare al marito suo grandi conforti e soddisfazioni soavi, nei 34 anni che vissero insieme.

Dovrei ancora dire delle pubblicazioni di Lord Kelvin. Ma oltre ad essere cosa assai difficile, sarebbe un fuor d'opera entrare qui in particolarità bibliografiche, dato il numero enorme delle sue memorie. Qualche casa pubblicò insieme col prof. Tait dell'Università di Edimburgo, e tra l'altre il notissimo e classico *Treatise of Natural Philosophy* (¹). Molte delle sue memorie furono raccolte in tre volumi sotto il titolo di *Popular Lectures and Addresses;* una ristampa delle sue memorie di matematica e fisica fu cominciata ma non finita sotto il titolo di *Mathematical and Physical Papers,* di questa pubblicazione si hanno solo 3 volumi che videro la luce dal 1882 al 1892. Nel 1884

(¹) Data la diffusione di questa opera di Thomson e Tait, la s'indicava dagli studenti sotto il nome *Trattato di* T *e* T'.

andò in America pel congresso di Montreal, si fermò a Baltimora dove fece una serie di letture che sono raccolte nelle sue *Baltimore Lectures*, pubblicate nel 1894.

Ed ora ho finito: ho detto malamente e poco, lo so. Ma non è tutta mia la colpa. Lord Kelvin fu uomo la cui attività non si riassume; fu un genio, l'opera di un genio non si può finire di studiare. Del genio egli aveva le pronte intuizioni, del genio la versabilità e il successo.

Nello scorrere le opere principali di questo uomo straordinario, per mettermi in condizioni di scrivere con minore incompetenza queste pagine, io ebbi gioia e conforto: non è vero che il grandioso edifizio che la scienza si ripromette di erigere è una vana utopia, come pretese l'orgoglio insoddisfatto di alcuni. Dal semplice maestro che ripete leggi e sperimenti noti e assodati da tempo, in una umile scuola di liceo, dal modesto e volenteroso sperimentatore che mette a frutto per ricerche nuove lo scarso patrimonio di mente e d'istrumenti di cui dispone, alla mente geniale e creatrice, dote rara di certi esseri privilegiati, tutti portano il loro contributo al reale progresso delle scienza, tutti sono operai benemeriti quanto necessari di questo maestoso monumento che l'ingegno umano erge al Creatore. Ciò è quanto più di tutto insegnò Kelvin con la parola e con l'opera.

Oggi in cui l'estenzione e la profondità raggiunte dalle investicazioni delle scienze positive ci costringe a limitare sempre, e sempre più il campo dei nostri studi, dobbiamo con grato animo riconoscere che l'edificio è a buon punto, e rallegrarci nel vedere che tra i suoi più arditi operai vi furono uomini in cui bontà d'animo e di vita furono sorelle amorevoli di intelligenza e sapere.

GIOVANNI COSTANZO

UNA NOTA
INTORNO AD ALCUNE RICERCHE ELETTROSTATICHE
PUBBLICATA DA LORD KELVIN
NEGLI ATTI DELLA PONTIFICIA ACCADEMIA DEI NUOVI LINCEI

Nella sessione dell'Accademia dei Nuovi Lincei tenuta il 16 febbraio di quest'anno (1908), quando io ebbi finito di leggere la commemorazione di Lord Kelvin, il ch. collega Ing. Comm. Statuti prese la parola per comunicare che nell'eseguire alcune sue ricerche storiche, gli era venuta sott'occhi, qualche giorno prima, una memoria dell'illustre fisico inglese, pubblicata negli atti della nostra Accademia.

Estrema cortesia e indulgenza verso di me indussero i Colleghi ad affidare a me l'esame della nota del Kelvin, per stabilire se fosse il caso di riprodurla per intero o in riassunto, e perchè nel caso ne curassi la stampa.

Come si vedrà, la nota del Kelvin è in forma di lettera, indirizzata al Prof. Paolo Volpicelli, professore di fisica sperimentale nell'Università di Roma, e segretario dell'Accademia. È inserita negli Atti dell'Accademia, sessione del 7 Marzo 1858, pagg. 177 a 185.

Il fatto che Lord Kelvin, allora William Thomson, abbia creduto di comunicare alla nostra Accademia le primizie di alcune sue ricerche di elettrostatica, è prova dell'alta considerazione in cui era tenuto il nostro istituto sin d'allora, quando era passato solo un decennio dalla sua restaurazione, e conferma in particolare la stima che per esso professava Lord Kelvin, cosa del resto ch'egli ebbe occasione di esprimere più volte a voce e per lettera.

Quando il Kelvin inviava al Volpicelli la nota in questione era socio corrispondente straniero da cinque anni, essendo stato proposto come tale insieme con l'Ohm, Gauss, Poinsot, Grove, Foucault, ed altri insigni scienziati, nella seduta del 6 febbraio 1852, e nominato il 10 luglio 1853.

Appena ebbi agio di leggere la nota del Kelvin, dovetti escludere immediatamente l'idea di pubblicarne un sunto. Essa stessa ci dà di per sè un vero riassunto di alcuni dei lavori sperimentali che l'autore aveva allora sottomano e che poi condusse a termine con tanto successo. Non mi parve d'altra parte inopportuna la riproduzione della nota, perchè essa oltre che darci una delle pochissime, e probabilmente l'unica memoria scientifica del Kelvin che sia originariamente apparsa in Atti di Istituti scientifici italiani, rappresenta una pagina interessante della storia della ricerca sperimentale della metà del secolo passato. Si aggiunga poi che non è oggi tanto facile la consultazione di essa, data la rarità degli Atti accademici di quei primi anni del ripristinamento dell'Accademia.

Credo quindi che l'Accademia nostra rechi degnamente onore alla memoria dell'insigne socio estinto, presentando ancora una volta agli studiosi un lavoro di lui, che sebbene apparso mezzo secolo fa, non può certamente essere oggi giudicato come mancante di valore intrinseco, anche quando si vogliano tener presenti i progressi non scarsi raggiunti negli attuali mezzi di ricerca elettrostatica, dei quali molta parte è dovuta all'opera dello stesso Kelvin e precisamente ai tentativi di cui si occupa la nota in discorso.

M'è venuto fatto di trovare una riproduzione di questa nota nel « *Nuovo Cimento* », anno IV, t. VIII, 1858, pagg. 115-123, ove è esplicitamente detto che la nota è presa dagli *Atti* della nostra Accademia.

Era nell'intenzione del Kelvin, come dice egli stesso, di inviare all'Accademia altre sue comunicazioni, e precisamente prometteva di scrivere ancora sull'elettrometro assoluto e sulle ricerche d'elettricità atmosferica condotte a termine con esso. Però dopo questa prima nota non si trova altro del Kelvin nelle pubblicazioni nostre.

Intorno ad alcune ricerche di elettrostatica. Lettera del sig. prof. G. Thomson, di Glasgow, al sig. prof. P. Volpicelli.

..... Anzichè procrastinare più lungamente, ora vi darò un piccolo cenno di alcuni strumenti elettrici, che feci costruire in continuazione de' miei progetti l'inverno decorso, e che quantunque non ancora

perfezionati, hanno tuttavia fatto sperare soddisfacentissime qualità, dopo che saranno compiuti nei vari particolari, ed eseguiti in maniera soddisfacente.

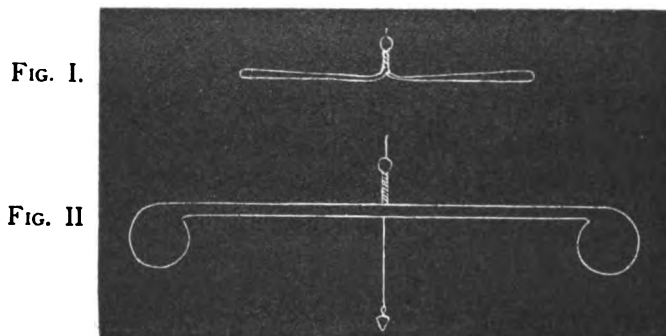
§ I.

Elettrometro idiostatico a ripulsione.

La forma dell'elettrometro elettroscopico, alla quale ho dato la preferenza dopo molti tentativi è una modificazione dell'elettrometro di Dellmann, descritto negli annali di Poggendorff. Come nell'elettrometro di Dellmann, e nella bilancia di Coulomb, perfezionata da Faraday, un filo di vetro si usa per sostenere l'indice mobile, e la forza elettrica è indicata dalla sua elasticità di torsione. Imitando l'istrumento di Dellmann (ch'io ebbi il piacere di vedere con gran soddisfazione in opera a Creelznach nel 1856, per gentilezza del suo inventore) uso un conduttore fisso, che porta due strisce metalliche, convenientemente aggiustate a respingere un conduttore lungo, leggiero, e mobile; l'una e l'altra delle quali deve essere elettrizzata dalla sorgente da sperimentare. Ma, modificando in ciò quello di Dellmann, il mio strumento è disposto in modo, da tenere il conduttore mobile in comunicazione costante col conduttore fisso, mediante un sottile filo di platino, congiunto al centro del primo, e che porta un piccolo peso di vetro, o di piombo, pendente sommerso nell'acido solforico, contenuto in una coppa di piombo, la quale costituisce la parte centrale dell'ultimo pezzo fisso. Questo conduttore fisso è isolato alla cima di un lungo sostegno di cristallo (3 o 4 pollici sono sufficienti) nel centro di una cassa di cristallo. Il conduttore mobile, è sospeso da un filo di vetro assai fino, lungo 4 o 5 pollici, e pende da una testa graduata, come nella bilancia di Coulomb: la forma del conduttore mobile, che forse potrà risponder meglio per uno strumento di ricerche esatte, è come in quello di Dellmann, un pezzo di filo fino metallico, torto in mezzo per dargli un punto conveniente di sospensione, e schiacciato un poco col martello verso le estremità, il quale forma un ago circa 2 pollici lungo. (v. fig. 1) Non ho ancora provato questo ago nel mio elettrometro, ma per servirmene nelle dimostrazioni delle lezioni, ho usato una doppia striscia di carta do-

rata. L'ultima di questa sorta da me provata, ha la forma della (fig. 2), ed è fatta semplicemente incollando insieme due pezzi di carta dorata, e tagliata nella forma suddetta: esso ago è circa 4 pollici e mezzo lungo, e quasi nelle proporzioni della figura. Essendosi trovato che si storceva, (e che così uscivano dal piano le sue estremità) esso fu irrigidito con un' assai sottil verga di vetro gommatagli addosso; ma ora, dopo essere stato 3 o 4 giorni dentro un' atmosfera ben secca, si è deformato. Esso agisce però come un elettroscopio molto comodo, ed è più sensibile di qualunque elettroscopio a foglia d'oro che io abbia. Lo adopero a preferenza dell' elettroscopio a foglia d'oro, in mostrare la teorica elementare degli esperimenti Vol-

FIG. I.

FIG. II

taici e Galvanici, coll'aiuto del condensatore. Quando il conduttore di carta si mette in posizione conveniente, usando attenzione mediante un assoluto elettrometro, che descriverò qui appresso, e valendosi della testa graduata di torsione, io posso ridurre le sue indicazioni a misura assoluta di potenza elettrostatica. L'operazione collo strumento è affatto soddisfacente e comoda, e più assai che non possa esser con quello di Dellmann, almeno nelle lezioni, per quanto io stimo. L'isolamento è così buono, che nell'umidissimo inverno di Scozia occidentale, nell'ultimo dicembre e gennaio, esso ritenne molto della sua carica durante 2 o 3 giorni. In questo e negli altri apparati elettrici, nei quali mi occorre un buono isolamento, tengo un vasello aperto di acido solforico attorno ai sostegni isolatori, che fo sempre di vetro non verniciato. Alcune specie di vetro isolano meglio, altre peggio, ma io sempre scelgo le buone da un gran numero per ogni strumento che devo fare.

Elettrometro o Elettroscopio eterostatico.

Ho pure costruito 2 o 3 forme di elettroscopi, estremamente delicati, coi quali posso mostrare la tensione diretta elettrostatica, di una semplice coppia galvanica, rame-zinco, senza l'aiuto di condensatore. Non sono ancora contento sulla forma migliore di questo strumento, per istituire accurate ricerche; ma descriverò brevemente una forma di sufficiente sensibilità, per mostrare nelle pubbliche lezioni,

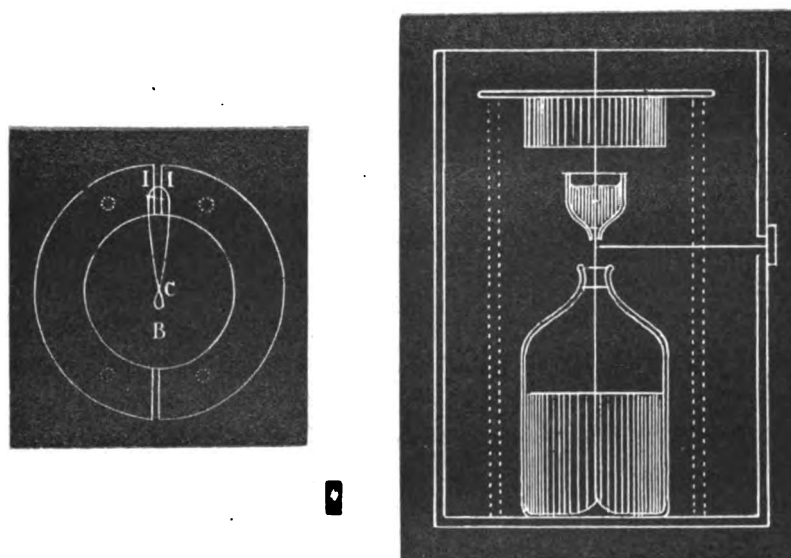



FIG. III.

l'effetto immediato di tensione, da un semplice paio rame-zinco, e quello della rapida separazione di un disco di rame da uno di zinco, ciascuno soltanto di 2 o 3 pollici in diametro. Ho trovato comodo nelle lezioni un elettroscopio che distingua il positivo, e il negativo con moti opposti.

La parte fissa del sistema conduttore in questo congegno, consiste principalmente in due metà d'un anello largo, fatto di lastra d'ottone (diam. ester. poll. 4 $^1/_2$, interno 3 $^5/_8$) (fig. 3) rinforzato da una striscia cilindrica, saldata all'orlo interno dell'anello (di questa striscia se ne può far senza, purchè si faccia l'anello di lastra d'ottone più grossa, e delle proporzioni come si vede nella figura. Ho intenzione di fare un nuovo strumento costruito così, invece

di quello che ora ho descritto, e spero trovarlo più sensibile). Quest' anello fu dapprima preparato e tornito nell' intero, e dopo fu tagliato diametralmente in due, con una sega fina. I due pezzi sono sostenuti da bacchette di vetro sopra un supporto, aggiustabili con viti in guisa, che possono esser portati ad un medesimo piano orizzontale, e separati l'uno dall' altro per uno spazio d'aria tanto stretto, quanto è possibile, senza metallico contatto (nel mio attuale strumento, che è molto rozzo, la distanza tra essi pezzi attraverso la superficie del taglio di sega, è circa un trentesimo di pollice). Due fili attaccati a questi pezzi d'ottone escono per due aperture, fatte nella cassa di vetro, e costituiscono gli elettrodi di prova dello strumento; una striscia di carta dorata, larga circa tre ottavi di pollice, curvata nella forma C, I, I, mostrata nella figura, e contrapesata in B da un peso di vetro, o di metallo, si trova sospesa da un sottile filo di vetro in C, ove porta un filo sottile di platino attaccato, con buona metallica comunicazione. Questo pezzo di filo di platino, pende con un peso di vetro sotto la superficie dell' acido solforico, contenuto in una coppa di piombo, sostenuta dalla verga dell' armatura interna di una bottiglia di Leida, collocata nel fondo della cassa di vetro ([1]). Questa bottiglia è all' esterno elettrizzata, per mezzo di un elettrodo orizzontale attaccato ad essa, e che sporge fuori della parete della cassa da un lato, ove trovasi un' apertura, che può chiudersi ed aprire a piacere, la quale si lascia chiusa, quando la bottiglia è elettrizzata, finchè apparisce necessario rinnovare la carica.

Quando il vetro della bottiglia è bene scelto, possono passare 2 o 3 giorni senza bisogno di rinnovare la carica per ogni specie di sperimenti. Nel mio attuale strumento stimo necessario (giacchè manca di molta sensibilità) rinnovare la carica dopo poche ore di uso.

Se ho bene spiegato con chiarezza le parti diverse di tale strumento, e la disposizione loro, voi vedrete facilmente, che se una metà del circolo è in comunicazione colla terra, e l' altra colla sorgente di elettricità da esplorare, l' indice I, I si moverà da un lato, o dall' altro, secondo che la sua elettricità è simile, od opposta a quella dell' indice. La sensibilità di questo strumento è tale, che se io tocco alternativamente uno degli elettrodi principali (cioè dei fili sostenuti da

[1]) Il filo di platino che porta il peso di piombo immerso, è due o tre volte tanto lungo, quanto nella figura in proporzione del resto.

uno dei mezzi anelli) con una mano, e l'altro con un pezzo di rame, o con un pezzo di zinco, l'indice si muove alternativamente con una oscillazione sensibile. Se i pezzi di rame e di zinco siano attaccati a ciascuno degli elettrodi principali, e se io tocco il rame dell'uno, e lo zinco dell'altro con le mani, e quindi alterno toccando il rame del primo, e lo zinco del secondo, l'indice mostra una notabile influenza. Siccome l'indice è permanentemente elettrizzato in +, così esso cammina verso il mezzo anello che è toccato colla mano, e così mostra la tensione di un semplice elemento galvanico zinco-rame.

Anche l'elettricità di contatto del Volta, può esser mostrata molto potentemente con sì fatto strumento: per far ciò, tutto quello che necessita è di connettere i dischi di rame e zinco (come sono comunemente usati per mostrar l'esperienza mediante il condensatore) per mezzo di fili sottili, coi due principali elettrodi; quindi, tenendoli con manichi di vetro premuti insieme, separarli poscia rapidamente, con un moto perpendicolare alla superficie loro di contatto. Istantaneamente l'indice si muove verso il mezzo anello connesso col rame, mostrando il carattere dello zinco positivo, e del rame negativo, scoperto da Volta, e che son sicuro non esser altro, fuorchè il carattere di questi metalli in una tavola di corpi, disposti secondo ciò, che è comunemente chiamato qualità elettrica di stropicciamento. Per mezzo di questo congegno, di recente ho rettificato una lista, che diedi alcuni anni sono come risultamento di esperienze, relative alla elettricità di frizione, usando il condensatore di Volta, per provare le qualità relative dei metalli e degli isolanti comuni, riguardo alla elettricità destata dallo stropicciamento. Essa è in tutto, non ne dubito, corretta; quantunque, come ben si conosce, variazioni notabili possono accidentalmente occorrere, e spesso tali occorrono, da mostrare apparenti differenze, od irregolarità, che non sono di facil spiegazione.

Mentre scriveva quanto sopra, mi venne in mente che l'alluminio poteva esser la miglior sostanza utile, per l'indice di qualunque specie d'elettroscopio, od elettrometro, nel quale l'indice deve esser conduttore; quindi volli procurarmene uno di forma conveniente. Siccome poi desideravo potervene far sapere i risultamenti, ho differito ancor più a scrivervi, ed ora vi accludo un pezzo di foglia d'alluminio, tagliato della grandezza, e figura di quello, che ho introdotto nel mio grande elettrometro-elettroscopico, destinato alle lezioni. Insieme con esso troverete un piccolo pezzo di foglia dello

stesso metallo, dal quale l'altro fu tagliato, e da cui possono ricavarsi aghi utili per minori elettrometri. Se l'uno o l'altro pezzo vi arriva in buone condizioni, voi potrete, piegandolo e scaldandolo diligente, mente, metterlo in buon ordine (stando però attento a non fonderlo) e quindi lo potrete ultimare, martellandolo tra due pezzi di carta: trovo il mio elettrometro molto migliorato così, ed è molto soddisfacente per le lezioni. Dopo che ho cominciato a scrivervi, ho continuamente usato l'elettrometro eterostatico, come un galvanometro elettrostatico, per mostrare i principii del galvanismo, e le leggi della conducibilità elettrica. Ho così trovato che un pezzo di legno d'abete asciutto, o bagnato, conduce meglio l'elettricità lungo le fibre, che

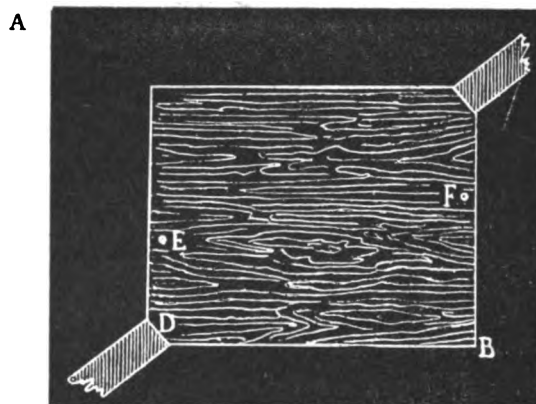



Fig. IV.

non attraverso le medesime. Provai ciò prendendo un sottil pezzo di tavola, tagliato di recente, perfettamente quadro, ed attaccando stabilmente ai suoi angoli opposti, due striscie di metallo, per unirle ai poli di una batteria di Daniel di 20 elementi (fig. 4). Le relative condizioni elettriche dei punti diversi della sua superficie, venivano da me provate, toccandoli cogli elettrodi dei due semianelli dell'elettroscopio, isolati tanto perfettamente, quanto era possibile, tranne agli estremi applicati alla tavola. Per evitare gli effetti accidentali (come sono l'attrito nello stropicciare degli elettrodi lungo la tavola, o di particelle metalliche lasciate sulla superficie) io ponevo due pezzi di foglia di platino su i punti della tavola, sui quali dovevano applicarsi gli elettrodi; quindi semplicemente toccavo questi pezzi di platino, coi fili isolati dell'elettroscopio. Altre irregolarità sono evitate, usando un commutatore nel circuito degli elettrodi della batteria, e provando

con uniformità gli effetti, rovesciando il commutatore, e notando l'indicazione dell'indice dell'elettroscopio. Ho così riconosciuto, che quando gli elettrodi di prova, sono applicati in A e in B, l'elettroscopio indica la medesima direzione di effetto, seguendo il rovesciamento del commutatore, come allorquando dal punto B è trasportato in D. Quando si scelgono punti situati come in E ed F, provando gli elettrodi, le indicazioni dell'elettroscopio sono ridotte a zero, o pressochè tali, non essendovi che una piccola instabilità; ma la conclusione, che la tavola da me usata conduce meglio lungo le fibre che attraverso, è concordemente dimostrata da tutte le prove che ho fatto fin'ora.

Cotale strumento, usato invece di un elettrometro a foglia d'oro congiunto al condensatore, si trova estremamente comodo, mostrando all'istante il carattere delle elettricità (+ o −), ed ha circa una sensibilità 50 volte maggiore. L'ho provato così per saggiare la relativa facoltà galvanica di vari metalli, mentre erano toccati solamente colla mano, o da un filo bagnato; così trovo il rame, l'alluminio, lo zinco, il magnesio, disposti nell'ordine stesso di forza elettromotrice, come qui li ho indicati. (Del magnesio tengo un bel pezzo, per gentilezza del prof. Heinz di Strasburgo: egli l'ottenne per via elettrolitica dal cloruro di magnesio, fuso insieme col sal comune).

Avendovi già incomodato molto con questa troppo lunga discussione, non vi dirò più altro intorno agli strumenti elettrici, spero tuttavia di scrivervi presto di nuovo, per esporvi un sistema di osservazioni sull'elettricità atmosferica, intorno alla quale ho alcuni apparecchi in istato di costruzione; e nel tempo stesso io vi descriverò gli esperimenti fatti con un *elettrometro assoluto*, acciò ridurre le indicazioni dell'elettrometro idiostatico a repulsione, ad una misura assoluta; ma bisogna che prima vi dica due parole, per giustificare i termini *idiostatico*, ed *eterostatico*, che ho rischiato introdurre. Un elettrometro, o una disposizione elettrica di qualunque specie, può dirsi idiostatica, se la forza elettrica che è equilibrata, pesata, o misurata in qualunque modo, dipende interamente dalla elettrizzazione di un corpo, vale a dire di quello da provarsi, quando si tratti di un elettrometro. L'elettroscopio a foglie d'oro, o qualunque forma di elettrometro a repulsione, per esempio, è idiostatico. Il mio elettrometro assoluto è pure idiostatico, perchè quantunque vi siano due conduttori, isolati l'uno dall'altro, (questi sono due dischi, l'attrazion fra i quali è pesata); tuttavia uno di questi (quello connesso colla terra)

riceve la sua carica per induzione, in virtù dell'elettrizzamento dell'altro. In ciascuno strumento idiostatico, le forze messe in giuoco sono essenzialmente proporzionali al quadrato del potenziale, o differenza di potenziali provati.

D'altra parte un elettrometro o elettroscopio, può esser chiamato eterostatico, se l'indicazione usata, cioè la forza messa in giuoco per l'elettrizzamento del corpo esaminato, dipende altresì da una indipendente elettrizzazione di un altro corpo. Il comune elettroscopio a foglia d'oro, quando la sua indicazione sia cimentata con un bastoncello di cera lacca, per conoscere la sua qualità elettrica, diventa, in quel momento un sistema eterostatico: nel fatto un elemento eterostatico è necessario, per dare la facoltà di distinguere l'elettricità positiva, e negativa. L'elettroscopio di Bohnenberger è eterostatico, e tale è il molto sensibile elettroscopio inventato da Dellmann. Gli elettroscopi, e gli elettrometri elettrostatici, sono soggetti ad avere la loro indicazione disturbata da influenze idiostatiche; (effetti che hanno luogo per l'elettrizzazione del corpo esaminato, a cagione dell'induzione; o effetti prodotti dalla elettrizzazione stabilitasi indipendentemente, e che agiscono per induzione). L'elettroscopio eterostatico che ho descritto, è notabilmente libero dalle irregolarità idiostatiche, e lo sarebbe del tutto, se l'asse verticale del movimento, passasse giusto pel centro dell'anello, se il piano di quest'ultimo, fosse con ogni esattezza orizzontale, e se la distanza tra le due metà degli anelli fosse infinitamente piccola. In un sistema puramente eterostatico, la forza messa in giuoco, è *semplicemente proporzionale* al potenziale, o alla differenza dei potenziali esaminati.

Dott. ETTORE DE TONI

IL CODICE ERBARIO

DI

PIETRO ANTONIO MICHIEL

(INTRODUZIONE E LIBRO AZZURRO)

Questo libro prezioso che si conserva alla Biblioteca Marciana di Venezia è opera di un patrizio veneto amantissimo della scienza botanica, Pietro Antonio Michiel, il quale scrisse di suo pugno il lungo testo e fu assistito per la parte iconografica dal pittore Domenico Dalle Greche.

Non ci dilungheremo a parlare della vita dell'illustre uomo perchè altri già ne fecero la biografia e ne decantarono i meriti (1), ci limiteremo a dire che, nato in Venezia nel Luglio 1510 (2), concepì di buon'ora passione per lo studio de' vegetali nel quale divenne valente a segno che nel 1551 i Riformatori dello Studio lo persuasero a trasferirsi a Padova per la cura dell'Orto botanico ove era prefetto Luigi Anguillara. Il Michiel rimase a Padova quattr'anni, dopo i quali tornò a Venezia, ove nel giardino annesso alla sua casa ai SS. Gervasio e Protasio (S. Trovaso) coltivava numerose piante i cui germi gli provenivano da vari luoghi, specialmente dal Levante e, non contento di ciò, spediva semi e germogli di piante agli amici affine di diffonderne la specie in Italia (Az. 42, 48, 98, 110, Ve. 73, 154, 203, 247) (3).

(1) Vedi il lavoro: *Notizie su P. A. Michiel e sul suo Codice erbario* (in *Ateneo veneto*, luglio ottobre 1908).

(2) Il Morelli mette il 17, il Tasca il 18, la qual ultima data dev'esser la giusta perchè registrata nel Libro nascite.

(3) *Az.*, *Gi.*, *Ro. I*, *Ro. II*, *Ve.* significano in abbreviatura i libri del codice distinti dall'autore pel colore del cartone (*azzurro*, *giallo*, *rosso primo*, *rosso secondo*, *verde*).

Desideroso che dei suoi studi e lavori rimanesse qualche memoria, fece disegnare a colori da un artista tutte le piante che venivano a sua conoscenza ed in tal modo fu composto il prezioso codice dapprima di quattro volumi, cui più tardi fu aggiunto, per sovrabbondanza di materia, un quinto. E forse altri volumi avrebbero dovuto far compagnia agli esistenti perchè il nostro patrizio, non limitandosi a far dipingere le piante che coltivava nel suo giardino, faceva ritrarre anche quelle secche e talvolta malconcie che gli arrivavano da luoghi lontani, ma il lavoro fu interrotto da un fatale avvenimento di cui durano ancora in Venezia i ricordi.

Lo sviluppo del commercio contribuiva, è vero, alla prosperità della Repubblica, ma facilitava altresì l'introduzione di morbi pestilenziali che menavano strage negli abitanti; tale fu quello che tuttora si chiama *peste del Redentore* (perchè per esso fu eretto il tempio votivo del Redentore nell'isola della Giudecca) e che in due anni uccise oltre settantamila persone. Tra le vittime più nobili dobbiamo annoverare Pietro Antonio Michiel rapito alla patria ed alla scienza nell'Agosto 1576 all'età di sessantasei anni.

Dopo cinque generazioni si spense anche la sua famiglia in Angelo Michiel il quale lasciò un testamento di nove pagine in cui aveva fatto numerose disposizioni, senza però far parola del Codice, ben differente in ciò da Alberto Rinio che tanto a cuore ebbe quello del suo antenato (1).

Ne venne che, rimaste superstiti due figlie andate a marito, i cinque volumi corsero pei negozi dei rigattieri finchè, per buona ventura, caddero sotto gli occhi di un uomo intelligente che seppe apprezzarne il merito, Giovanni Marsili prefetto dell'Orto botanico di Padova. Il Marsili li acquistò, ne fece uno studio di cui diede relazione, ma alla sua morte i preziosi volumi correvano il rischio di una seconda dispersione, quando furono salvati dal suo successore Giuseppe Bonato che ne fece omaggio alla Biblioteca di San Marco.

In questa, che è una semplice introduzione, daremo al lettore un'idea sommaria del codice che può far ben persuasi dell'importanza del suo studio.

L'ordine con cui si procede nella descrizione è indicato dallo

(1) *Liber de simplicibus* di Benedetto Rinio, pure custodito alla Marciana. Il commento da noi fatto è tuttora inedito.

stesso autore. I libri non sono distinti con numeri progressivi ma, secondo il colore del cartone, si chiamano coi nomi azzurro, giallo, rosso primo, rosso secondo, verde, che noi per brevità indicheremo coi segni: Az., Gi., Ro. I, Ro. II, Ve. Al principio del *libro rosso primo* è indicato il modo di descrivere le singole specie. Sotto i titoli: *Nomi*, *Genere*, *Forma*, *Luogho*, *Tempo*, *Amano*, *Generatione*, *Oppinioni*, *Dispareri nelle piante*, *Virtù* si espongono la nomenclatura della pianta, i nomi delle piante affini o chiamate nel medesimo modo (anche se molto differenti), la diagnosi, l'abitazione, la durata, le stagioni in cui appaiono i vari organi, la stazione, il modo di riprodursi, le opinioni degli autori e le applicazioni del semplice.

La scrittura è quella del secolo XVI cioè piuttosto trascurata e, se aggiungiamo che l'inchiostro usato era di cattiva qualità, ben si comprende come sia malagevole la lettura e come gli studiosi che fecero un esame saltuario del manoscritto abbiano commesso degli errori di trascrizione. L'*e* si confonde coll'*i* e coll'*erre* e perciò troviamo trascritto *Cichino* per *Cechino*, *Nabatri* per *Nabatei*, *fratisco* per *fratesco* (Ro. I 274, Az. 50), *z* si confonde con *t*, *p* con *s*, *G* con *B*, *e* con *o* se scritto in altro modo dall'usuale, ecc., tanto che ne vengono le seguenti trasformazioni: *giallezzi* diviene *gialletti* (Ro. I, 274), *Gengevo* ora *Gongono*, ora *Benzino* (Ve. 78, 79) ecc.

Anche l'ortografia e la grammatica lasciano parecchio a desiderare. Sono di frequente omessi gli accenti e perciò troviamo scritto *pero* per *però*, *sera* per *sarà*, *hara* per *harà* (avrà). *Marchio* per *Marchiò* (Melchiorre). La desinenza *ezzio* corrisponde all'italiano *iccio* p. e. *bianchezzi*, *giallezzi* per *bianchicci*, *giallicci*, le coniugazioni dei verbi sono fatte in modo da renderne alcuno poco intelligibile, es. *cresero* per *credettero*, i significati delle parole possono esser differenti da quelli della nostra lingua ed anche contraddittori tra loro. Cosi *quivi* significa costantemente *qui* [1], mentre *inanti* (innanzi) ora significa: *nelle pagine antecedenti* (Ro. I, 195), ora: *nelle pagine seguenti*.

La parola *rascontrate* applicata alle foglie significa ordinariamente *opposte*, ma talvolta *disticbe* (Az. 36, Ro. I. 149). Anche il significato dei termini geografici non sempre è d'accordo col moderno, sia pei mutamenti politici, sia per errori dovuti alla scarsa conoscenza dei luoghi lontani ed oltre a ciò vari nomi locali sono mal trascritti [2].

---

[1] Anche oggidì i contadini veneti dicono *chive* per *qui*, *live* per *lì*.

[2] Vedi *Notizie* retrocitate.

Salve rare eccezioni, la pianta è dipinta sul recto del foglio ed il testo sul verso, ma costantemente nel recto sopra la figura è scritto il nome della pianta in caratteri rovesciati (¹).

Non sappiamo il perchè l'Autore abbia fatto uso di questo alfabeto, ma il decifrarlo fu di qualche utilità perchè talvolta si trovano sulla figura nomi che mancano nel testo e talora anche dobbiamo a quell'alfabeto se la pianta ha un nome perchè il testo non fu scritto (Ro. I. 133, 286). Altre volte dobbiamo a quell'alfabeto la conoscenza dell'abitazione, p. e. varie piante che nel testo sono notate come « Incognita » portano scritto sulla figura: « Incognita dal Dolfin » il che ci apprende che provengono dalla Dalmazia, essendo state inviate da Girolamo Dolfin allora generale in quella regione.

Non sempre la trascrizione in caratteri rovesciati fu corretta; l'abitudine faceva scrivere certe lettere nel modo ordinario e ne veniva una scrittura mista, p. e. il nome bᗄM⊣ᗄ che andrebbe letto *damia*, mentre è *bamia* (Ro. I, 2), la fretta nel tracciar le lettere fece spesso far *u* eguale a *n* o storpiar le parole, es. *tromentaria* per *tormentaria* (Ro. I, 35).

Più scorretta è la trascrizione dei nomi stranieri, specialmente se scritti in caratteri gotici (Ro. I. 329, Ro. II, 8) ed altre difficoltà provengono dal frasario che in certi punti, anzichè italiano, è veneto e veneto di quei tempi (Ve. 202).

Le varietà degli inchiostri prova che frequenti furono le aggiunte ed i ritocchi che noi segneremo con carattere corsivo, talvolta si dimenticò di correggere od il testo o la figura, il che è causa di discrepanza (Ro. I. 153).

E giacchè il discorso ci ha condotto a parlar delle figure diremo che si notano da una pagina all'altra gran differenze. Alcune sono disegnate e colorite con finezza tale da rivaleggiare con quelle del Rinio, altre sono talmente rozze che riesce difficile colla loro guida la determinazione della specie vegetale, massime se il testo porta descrizioni incomplete e nomenclatura antiquata o nulla, come avviene delle piante chiamate « incognita ».

Gli studiosi che esaminarono il Codice caddero nelle opposte

(¹) In certi fogli (Ro. I, 12, 151, 180, 201, 230, 331) pare che manchi perchè fu tagliato via nel raffilare le carte quando si fece la legatura dei volumi e difatti al Ro. I, 201 se ne vedono tracce,

esagerazioni, alcuni ottimiste, altri pessimiste, che si trovano riportate nei *Giudizi* pubblicati nell'altro nostro lavoro ([1]).

Non sempre l'autore si contentò di far dipingere la pianta, talvolta all'intorno di essa v'è disegnato un paesaggio (Az. 36, 37, 38, 58, 63, 64, 66, 73, 75, 78, 79), altre volte la figura della pianta è accompagnata da figure di animali e da figure simboliche alludenti alle virtù del semplice (Az. 8, 9, 37, 67, 78, 83, 86, 95, 98, 99, 104, 105, 107, 110, 111, 114, 115, Ro. I. 107, Ve. 200).

Malgrado l'asserzione in contrario del Bonato ([1]), il Michiel non fu esente dalla pecca di altri botanici anteriori e contemporanei e tra le figure ne troviamo varie fittizie che l'artista disegnò sul dato di descrizioni vaghe ed anche erronee (Az. 132, 147, Ro. I. 34, 78, 286, Ve. 79, 113, 188, 204, 223, Gi. 79, 94, 114).

Altre figure sono di piante eteroclite (Ro. I. 21, 40, 289), altre non son tratte dall'originale, ma da disegni, come in più luoghi dice lo stesso Autore, altre si deducono esser tali, osservando attentamente la figura e facendo opportuni confronti col testo, tanto che qualche volta le figure del codice, invece di provarci che il Michiel conobbe la pianta, ci provano il contrario (Az. 67, Gi. 12, Ro. I. 301).

Qui si riattacca naturalmente una questione: se il Michiel, oltre questo cosidetto Erbario, abbia fatto un vero erbario, cioè una collezione di piante disseccate la quale sarebbe potuta andar dispersa come avvenne del Codice, senza però trovare un salvatore. Risponderemo che qualche figura (Ro. I. 195) mostra coi suoi colori di esser tratta da pianta disseccata, ma trattasi probabilmente di quegli individui che, spediti da lontano, giungevano avvizziti. Non di rado vi sono tra le pagine del codice dei frammenti di piante secche le quali aiutano nella determinazione della specie quando la figura è imperfetta (Az. 23, Ro. I. 142, 152, Ro. II. 2, 44, 61, 74, 75, Ve. 80).

Ma è evidente che questi frammenti non costituiscono prova sicura della formazione di un regolare Orto secco perchè potrebbe darsi benissimo che il Michiel si contentasse di cacciar fra le pagine del suo manoscritto qualche campione delle piante che riceveva, specialmente se trattavasi di specie rare.

A quel tempo non si era ancora raggiunta quella esattezza di

([1]) Vedi *Notizie* retrocitate.

nomenclatura che troviamo due secoli dopo quando l'anatomia e la morfologia rivelarono le vere omologie tra gli organi dei vari vegetali, quindi la terminologia del codice tradisce più volte dell'incertezza. Così il nome *fiore*, ora ha il significato attuale, ora indica la sola corolla, ora le infiorescenze a fiorellini fittamente riuniti, *foglie* sono di frequente le pinnule o le sezioni foliari, *piccioli* i pedicelli [1], *silique*, oltre le vere silique, i legumi ed i follicoli, *cappi* gli acheni, i frutti didimi ed i tubercoli radicali (Gi. 81, Ro. I. 373, Gi. 67), *frutti* le galle (Az. 104, 105) ed anche certi fiori in boccia (Gi. 102). Curiosa è la svariata nomenclatura degli stami, chiamati ora *stamini* [2] (Gi. 120, Ro. I. 141), ora *atimini* (Ro. I. 194) il che farebbe credere ad una traduzione del francese *étamines*, ora *atomini* (Ro. II. 49), ora *linghuini* (linguette) (Gi. 54), ora *barbuce* (barbette) (Ro. I. 157), ora *sbarbati* (Gi. 102), ora « *certi sotil* » (Ve. 47). È bene anche notare che la parola *azzurro* nel dizionario del Michiel significa *violetto* e difatti lo provano il nome di *libro azzurro* dato al primo libro la cui coperta è violetta e l'aggettivo *azzurri* dato ai fiori della viola (Ro. I. 126) e dell'iride (Ve. 117).

Altre volte l'Autore modifica in bene la sua nomenclatura, come nei luoghi in cui riconosce che le sezioni sono parti di foglie (Az. 101, Ve. 42), che i capolini sono aggregati di fiori (Ve. 5), che l'agave è differente dall'aloe (Gi. 120).

Rare volte il nostro Autore si prese la libertà, di cui il Clusio fece rimprovero al Lobelio, di mutare i nomi delle piante, introducendone di sua fattura (Ro. I. 140, 353, Ve. 115); generalmente egli accettava quelli già assegnati, anche quando gli parevano impropri ed a molte piante che egli avrebbe avuto il diritto di battezzare dava modestamente il nome di « incognita ».

Comprendendo il Codice un numero di piante che supera il migliaio, divise solo in quattro classi artificiali, non dobbiamo maravigliarci di trovare la medesima specie figurata due volte se i campioni erano ricevuti in tempi diversi (Ro. I. 31 e 347, Ro. I. 243 e Ro. II. 63, Ro. I. 334 e Ro. II. 72, Ve. 137 e 195, Ve. 190 e 218). Più facile era la ripetizione quando la pianta poteva prender posto in due differenti

(1) Al Ro. I. 109 la parola ha il suo vero significato. Anche lo Jung scriveva: « petiolus vel pediculus ».

(2) Il nome *stamina* fu usato più tardi da Gioacchino Jung.

divisioni, per cui le due figure vengono a trovarsi in libri diversi (Ro. I. 231 e Ve. 126, Gi. 155 e Ro. I. 352, Ro. I. 263 e Ve. 11, Gi. 138 e Ve. 6, Az. 32 e Ve. 6) e più facile ancora quando i campioni spediti o per differenza di aspetto o di nomenclatura furono creduti di specie diversa (Gi. 10 e 61, Az. 160 e Gi. 144, Ro. I. 90 e 110, Ro. I. 324 e Ve 90, Ro. I. 210 e Ro. II. 68, Ro. II. 69 e Ve. 180, Ve. 249 e 250, Gi. 125 e 135, Ve. 123 e 171).

Il Michiel cercò di rendere attraenti le sue descrizioni, inserendovi dei detti popolari allusivi alle piante (Gi. 118, Ro. I. 28, Ve. 172) ed accogliendo pure varie credenze popolari sulle virtù de' semplici (Az. 137, Ve. 35, 150), sugli usi magici (Az. 8, 58, 59), sul magnetismo (Az. 82).

E, se passiamo alle credenze personali dell'autore, ricordiamo che a quei tempi era viva la teoria delle signature ed il Michiel mostra di credervi (Az. 15, Ro. I. 281), altrove è ammessa per piante ed animali la generazione spontanea (Az 3, Gi. 2, Ro. I. 153, Ro. II. 65), esclusa quella per semi nelle piante acquatiche (Ro. I. 73) ecc.

Ma, accanto agli errori, vediamo qua e là, come vividi lampi, delle asserzioni che dimostrano studio attento e lavoro di deduzione. Già il Marsili ebbe a notare che il Michiel intravide la funzione riproduttiva dei sori nelle felci (Ro. I. 123) e soggiunse: « Di questo fatto si avvidero i botanici qualche secolo dopo il Michiel ». Noi aggiungeremo che di questa funzione il Michiel parla anche in altri fogli oltre quello menzionato dal Marsili (Ro. I. 109, 110, 242) e ne parla anche a proposito del licopodio (Ro. I. 291), mentre non la sospettò in certe felci dove pure i sori erano abbastanza evidenti (Ro. I. 3, 90, 98), aggiungeremo pure che il Michiel fu nella scoperta preceduto da due botanici Girolamo Trago e Valerio Cordo. Però possiamo esser certi che egli fece l'osservazione senza nulla sapere di ciò che dissero i due dotti tedeschi, benchè spesso ne citi le opere, locchè può attribuirsi all'essere da loro la scoperta stata annunciata in poche parole che facilmente sfuggono a chi solo consulta il libro per veder le figure e le descrizioni [1].

A quanto dice il Marsili possiamo aggiungere che un minuto esame del codice manifestò altre osservazioni fatte dall'Autore non

---

[1] Nel 1628 il Cesi constatò col microscopio che le felci producono cosa simile al seme.

prive d'interesse per la storia della scienza p. e. quelle di certe variazioni dovute all'ambiente od al nutrimento (Ro. II. 49, 72), certe osservazioni fisiologiche (Gi. 11, 105, Ro. I. 80, 96, 198, 199, Ve. 45), morfologiche (Ro. I. 310, Ve. 179), altre sulla fillotassi (Ro. I. 197), altre che dimostrano aver egli saputo cogliere le vere e naturali analogie tra piante apparentemente diverse (Ro. I. 156, 168, 174, Ro. II. 49, Ve 14, 25, 118, 135, 179, 240), ed anche esperimenti diretti a sfatare false credenze (Ve. 250).

Ma ciò che forma per noi il maggior titolo di gloria pel nostro patrizio è *l'avere constatato l'esistenza dei tubercoli radicali nelle leguminose* (Gi. 127, Ro. I, 354) e quel che è più l'aver *sospettato la loro natura parassitaria,* scoperte interessanti pel tempo in cui furono fatte quando l'unico ausiliare all'occhio era una semplice lente d'ingrandimento. Che il Michiel ne abbia fatto uso par provato dall'immagine ingrandita di una pianta che trovasi in altro foglio (Ro. I. 85), però è da convenire che essa era strumento molto imperfetto per giudicare della natura di corpi non più grandi, come dice l'Autore, di un seme di miglio.

Se consideriamo il nostro Michiel come florista, potremo notare col Marsili (189) che delle specie da lui figurate, il cui numero sorpassa il migliaio, varie furono da lui per primo conosciute, benchè la loro scoperta sia attribuita ad altri botanici, per non aver egli data alle stampe l'opera sua. Un paziente esame del codice ed una serie di confronti fatti colle opere di altri floristi ci fece constatare che il numero di queste specie sorpassa il centinaio, numero notevole e bastante a dare al veneto patrizio un posto onorevole.

Interessanti sono anche certe abitazioni di piante da lui citate (Az. 47, 48, 64, 65, 74, 95, Gi. 78, 109, Ro. I. 21, 165, 170, 239, 251, 327, 372, Ve. 112, 123, 197, 212) o perchè rare per quel tempo o perchè tuttora poco note, alcune delle quali da lui stesso verificate (Ve. 197) (1).

Ed una notevole importanza acquistano varie delle figure del Codice perchè ci aiutano in un lavoro di identificazione che da vario tempo interessa gli studiosi. Il Michiel avea legame d'amicizia con Luigi Anguillara primo custode dell'Orto botanico di Padova che gli

(1) Il Michiel deve aver fatto viaggi, perchè parla di piante da lui vedute nell'Umbria (Ve. 201).

dedicò il secondo de' suoi Pareri. Facendo nostre le parole di un illustre botanico, diremo: « Sarebbe uno studio raccomandabile quello di estrarre dai « Semplici » dell'Anguillara un catalogo delle piante italiane quali si conoscevano allora, coi luoghi, coi nomi e colle date. Codesto riuscirebbe un importante contributo per un lavoro che certo a suo tempo verrà fatto e che potrà intitolarsi: *Storia della prima invenzione delle piante italiane* ». Questo catalogo presenta una seria difficoltà in causa della troppa concisione usata dall'Anguillara nelle sue diagnosi, per cui varie specie difficilmente si possono determinare. Per buona sorte vari dei Semplici di Anguillara vennero dal Michiel figurati nel suo codice, anzi il Michiel ne aggiunse altri di cui ebbe il nome dall'Anguillara od a voce o per iscritto e che non sono menzionati nel classico libretto (Ro. I. 63).

Daremo in altro lavoro un elenco di quei Semplici di Anguillara che possono essere identificati colla guida del Codice, avvertendo però che dovemmo procedere con molta circospezione perchè varie delle figure sono fittizie e fabbricate sulla falsariga della descrizione (Gi. 114, 134), altre contraddicono (Ve. 124, Ro. I. 133).

Come per l'Anguillara, il presente Codice può servire ad identificare certe specie del Ghini e dell'Aldrovandi [1].

Un contrasto notevole coll'irruenza del Mattioli, del Guilandino e di altri contemporanei troviamo nella mirabile riservatezza, che talvolta può chiamarsi eccessiva (Ve. 209) del nostro dotto patrizio nell'esporre le sue opinioni. Non credasi però che egli accettasse ciecamente quanto si diceva e scriveva, anzi non esitò a discutere idee di Aristotile (Ro. I. 315), Plinio (Ro. I. 1), del venerato Dioscoride (Ro. I. 167, Ve. 58, 79), delle Pandette di Silvatico, altro Vangelo per quei tempi (Az. 83), del Trago (Ve. 56, 202), del Dodoneo (Az. 126, Ro. I. 221), degli amici Anguillara (Ro. I. 171, 221, 260, 297, Ve. 18, 52, 86, 131, 162, 240) e Guilandino (Ro. I. 138, Ro. II. 49) e del Mattioli (Az. 4, 59, 83, Ro. I. 218, 285, Ve. 71, 162, 257). Non sempre però le sue censure sono ben fondate (Gi. 72, Ro. I. 172, Ve. 35, 242), in ogni caso malgrado la forma riservata, riuscirono a taluno sgradite e gli procurarono delle inimicizie. Il Mattioli p. e., dopo aver lodato il Michiel, irritato per qualche critica ed anche per l'amicizia che il

[1] *Ulisse Aldrovandi e P. A. Michiel* (pel III centenario dalla morte di U. Aldrovandi, Imola, 1907).

nostro Veneto aveva per l'Anguillara ed il Guilandino, scrisse contro di lui ([1]).

Potrà il lettore sorprendersi come un uomo sì benemerito, lodato da vari contemporanei, sia ora appena ricordato ([2]) nelle storie scientifiche. Una delle cause è la mancata pubblicazione del suo manoscritto che, come osserva il Marsili, doveva essere dato alle stampe, avendone l'autore preparata la dedica alla dogaressa Loredana Marcello-Mocenigo. Al principio del libro giallo l'Autore stesso espone le ragioni per cui smise l'idea di stampare il suo lavoro, ragioni ispirate da quella modestia di cui già parlammo e che evidente appare a chiunque si contenti anche di scorrere il prezioso Codice.

Altra causa di questa dimenticanza è un curioso equivoco per cui molti confondono il nostro patrizio coll'illustre botanico toscano Pietro Antonio Micheli vissuto un secolo e mezzo dopo, benchè vari scrittori abbiano messo in guardia contro tale errore ([3]).

Nessuna data esiste nel Codice, ma gli anni in cui esso fu composto possono dedursi dalle lettere scritte dal Michiel all'Aldrovandi ([4]). Fu un problema di cui ci occupammo seriamente per ben determinare la questione della priorità del Michiel sugli altri botanici nel rinvenimento delle specie vegetali.

([1]) V. *Notizie* retrocitate.

([2]) Furono fatte ricerche sul suo ritratto, ma questo, se mai esistette, andò probabilmente disperso allo spegnersi della famiglia; l'unica effigie che conosciamo è quella al N. 10 del libro verde.

([3]) Per trarlo dall'oblio fu imposto dai proff. Penzig e Saccardo il nome *Neomichelia melaxantha* ad un fungo scoperto sui picciuoli putridi delle palme a Bogor (Buitenzorg) nell'isola Giava. Il nome *Michelia* era stato da lungo tempo assegnato ad un genere di piante magnoliacee, in onore dell'altro botanico P. A. Micheli. Come prova di quanto poco sia conosciuto il nostro Michiel diremo che un botanico moderno, il Baillon nel suo Dizionario all'articolo *Michiel*, dopo aver detto che è conosciuto per un opuscolo del Marsili, soggiunge « Si tratta forse di Micheli? »

([4]) Pubblicate recentemente da mio fratello Giambattista. In una di esse, del 14 ottobre 1553, il Michiel parla del suo *giardino che semper viret dipinto*, che è evidentemente questo codice, in un'altra del 10 aprile 1554 parla del lavoro che fa il pittore per ritrarre le piante. Dall'insieme de' documenti par che il lavoro sia stato cominciato intorno al 1550 e proseguito con interruzioni (vedi prefazione al libro giallo) per circa venticinque anni. Il De Visiani crede che i libri siano stati scritti nella prima metà del secolo senza però darne alcuna prova. Avendo letto minutamente tutto il codice, trovammo nel libro rosso N. 55 l'indicazione della località d'una pianta: « in piè de monti d'Austria a Tubinge » che potrebbe dar ragione al De Visiani perchè la città di Tubinga nel Würtemberg appartenne all'Austria dal 1520 al 1534, poi passò all'impero romano-germanico. Però può darsi che il Michiel continuasse a chiamarla *d'Austria*, sia per ignoranza del cambiamento politico, sia perchè l'imperatore di Germania era Carlo V di Casa d'Austria.

Nel presente lavoro noi disponemmo i libri del Codice nel seguente ordine: azzurro, giallo, rosso primo, rosso secondo, verde, perchè è quello esposto dallo stesso Autore nella prefazione al libro azzurro, mentre il Marsili e tutti gli altri studiosi dietro il suo esempio diedero l'altra disposizione: rosso primo, rosso secondo, verde, giallo, azzurro. Noi pure la seguimmo nelle citazioni quando ci limitavamo a consultare il codice saltuariamente [1], ma lo studio più particolareggiato che ora dovemmo farne ci persuase dell'errore del Marsili, senza che ci fosse possibile indovinarne la causa. Non credasi però che il chiamar *primo* il libro azzurro, *secondo* il giallo ecc. indichi che il libro giallo sia stato cominciato dopo finito l'azzurro, il rosso dopo finito il giallo ecc. Secondo la classificazione prestabilita dall'Autore, ogni pianta che arrivava doveva esser figurata nel libro cui apparteneva per la forma della radice, dal che si comprende che i libri sono in realtà contemporanei e ciò appare anche da certe frasi (Ro. I. 365 e Ve. 208).

Riservando al principio dei singoli libri altre considerazioni, chiudiamo il presente proemio, esprimendo la speranza di aver fatto cosa utile alla storia della scienza col presente lavoro e desiderando, in caso contrario, ci siano accordate le attenuanti.

Per non recare soverchio ingombro si trascriveranno solo quelle parti che hanno interesse per alcuna delle cause che in questo proemio furono enumerate. Ciò che noi aggiungiamo a commento sarà scritto o tra parentesi quadre o nelle note a piedi di pagina.

Libro Azzurro

Libro di Albori, Frutici et In vogli

Considerando io Piero Antonio Michiel fu di Messer Marco che l'ordine in tutte le ationi sonno apreciabile pero al meglio io ho saputo, ho partito le varieta delle piante in diversi libri acio siano manco confusi et veduti in manco volume essendo partiti in quatro distinte opere, zioe questa di Albori, frutici et in vogli [2], la seconda

[1]) *Sopra un Codice-erbario medievale* (Atti Istituto Ven., 1897-98, p. 1235-1271).

[2]) *Invogli,* cioè piante volubili, quindi il primo libro comprende le piante legnose e le rampicanti.

Libro azzurro.

di herbe aculeate et di radici bulbose et rotonde. Il terzio di piante legnose et di piante con radici capillare et sottille. Il quarto di herbe con radice carnose et grosse, dunde l'huomo sapera [saprà] piui al facile ritrovare quello che desidera governandosi da questo ordine sapera in qual libro son la pianta che ricerca. Et ogni libro hara [avrà] il suo indice et alfabeto con tutte le varieta de sinonimi ho possuto intravenire, acioche tanto il Latin quanto il volgare et tanto il Greco quanto l'Alemano et altre nationi anche possi ogni uno per il suo nome intravenire in quello che desidera. Et pigliarne quella utilita et inteligentia che potra, dando colpa al debil et pocho saper mio, cogliendo qualche rosa, se pure ne serano, tra tanti spini.

[Qui appare chiaro l'ordine propostosi dall'Autore il quale spartì le piante in quattro divisioni artificiali: 1° Piante legnose e piante volubili contenute nel presente libro azzurro.

2° Erbe a radice bulbosa o tuberosa ed erbe spinose contenute nel libro giallo.

3° Piante con radici legnose o sottili nel libro rosso.

4° Erbe con radici a fittone nel libro verde.

Conoscendo già per pratica che sono più numerose le piante della divisione terza egli fece fare i libri più o meno ricchi di pagine secondo il numero probabile di piante che dovevano allogarvisi, perciò il maggiore fu il rosso, seguirono in grandezza il verde, l'azzurro, il giallo. Contuttociò il libro rosso divenne insufficiente perchè l'Autore vi allogava oltre le piante a radice sottile, tutte quelle a radice sconosciuta, da ciò ne venne l'aggiunta di un secondo libro rosso che in un punto del codice (Ro. I. 177) è chiamato *libro nuovo.*

Di mano in mano che cresceva il numero delle piante, riconobbe l'Autore l'insufficienza di questa primitiva classificazione, quindi la modificò una prima volta nel libro rosso, un'altra nel libro verde come si legge nelle relative introduzioni. Però queste due nuove classificazioni furono semplicemente esposte e l'Autore non potè metterle in pratica, perchè ciò avrebbe portato uno spostamento nelle pagine ormai numerate ed un conseguente cangiamento de' numeri spesso citati al capitolo *Genera.*

Già il Morelli avvertì che gli indici alfabetici promessi dall'Autore in questo esordio mancano nel Codice. Le pagine bianche che si trovano, non solo in fine ma anche nel corpo dei libri tenderebbero

Libro azzurro.

a provare che il Michiel non considerava finito il suo lavoro e si riservava di far l'indice quando il codice fosse pronto per le stampe, ma che la morte quasi improvvisa ne lo impedì].

N. 17 [*Passiflora coerulea* L.]

Nomi — Mecoacan [cancellato] da Spagnioli — *Cedriolo vel Cocomero* sp.

Forma — Suoa radice grosseta pallida, suoi sarmentosi rami che se invoglia [si avvolgono] nodati et da ogni nodo suoi caprioli [viticci] con una fronda per nodo in sete parti per el piui divise simil al pentafillon giallezzie et amare. Suoi semi simili alla scamonea [N. 23] per quello mi disse el Guilandini. *Et la vide poi meglio che la gli naque et li fezze li frutti l'hanno 1570 ma non mi disse la forma di essi et che non si maturorno.*

Luogho — Di Spagnia fu portata di qui, ma nasce nella Nova India alla Isola del Mecoacan dunde Spagnioli li a posto nome dal luogho ci viene. *Et sara anche questo con errore posto come il resto non essendo Mecoacan.*

Tempo — Penso sia vivace suoe radice. Et l'Esta son frondose et eminente serpendo sopra a quel li son acanto et invogliendosi.

Oppinioni — *Il supra deto Guilandini mi disse esser il Mecoacan, poi mi scrisse haversi errato. Et che era spezie di Cedriolo over Cocomero.*

[Pianta sterile; a parte una foglia in grandezza naturale. La passiflora trovasi la prima volta ricordata dal poeta Martino del Barco che la vide nel Paraguay. Da questo codice apprendiamo che essa fu importata in Ispagna donde il Guilandino ottenne un campione che spedì al Michiel dopo averne levato i frutti per poter seminar la pianta nell'Orto botanico di Padova. Perciò la figura presente riuscì incompleta, non avendo poi il Guilandino spediti altri campioni quando gli riuscì di avere individui fioriti e fruttiferi. Si limitò a scrivere al Michiel che i frutti aveano forma di cetrioli, senza dir nulla dei fiori che pur sono tanto singolari.

Dal testo apprendiamo che la passiflora fu creduta, sulla fede del Guilandino, il Mechoacan, ma più tardi l'errore fu corretto, sia per opera dello stesso Guilandino, sia per avere il Michiel ricevuto un campione del vero Mechoacan che trovasi ritratto al N. 161. Giusta-

Libro azzurro.

mente il Michiel dall'errore del nome specifico dedusse l'errore di abitazione. Difatti la patria della passiflora è l'America meridionale, non il Messico cui appartiene la provincia di Mechoacan. Il nome di *isola* che qui dà il Michiel a quella provincia che è continentale è il risultato di un errore scusabile, date le cognizioni geografiche di quei tempi. Le prime terre scoperte in America (Lucaie, Antille) erano isole e coloro i quali non si occupavano particolarmente di geografia spesso credevano isole anche altre terre in realtà continentali ([1])].

N. 23 [*Convolvulus Scammonea* L.]

Nomi — Scamonea da volg. — Scambonia radix da alcuni -- Colophonia, Dactylion da altri — Apopleumonos da Magi — Sanilum da Egyptij — Diagridion da Greci.

Genera — Alcuni tengono che il fiore di note [N. 11] sia spezie di Scamonea ma per non haver radice corispondente mal si puol haver questa oppinione. Et l'Helsine Cissampello over Broeggia è dimandata da Plinio Scamonea picciola. Et otra manera di Mecoacan dimostra 161 son tenute per spezie di Scamonea. Et anche una altra pianta con nome di Mechoacan son tenute per spezie di essa la seminai ma non mi naque.

Forma -- Suoa radice gomosa, sfilosa, gialezzia, grande et grossa, suoi fusti sotilli, rotondi che se invogliano [avvolgono] a quel li sonno acanto, suoe frondi con intervalo dal una al altra di forma simile al volgare volubile con 3 punte in sesto di lancia, ma larghe abasso, al gusto pocho acetose, suoi fiori bianchi in campanele simil volubile deto. suoi semi di scuro colore lungheto et simil a quello del fiore di note ma roano.

Luogho — In Soria, in Candia et per Levante et gli uceli di suoi semi molto se ingrassano come si vegono nelli pitteri in smartello [vasi da fiori di terraglia smaltata] che di Cipri vengono mandati a noi. L'elleta [eletta] si ricoglie in Misia nell'Asia et in Collophone isola nel Jonie dunde vi sonno l'Oraculo di Appoline.

([1]) Chi non fosse disposto a scusare simili errori, pensi che in pieno secolo XIX vi fu chi si presentò come azionista per l'impresa del taglio dell'isola di Svezia (*île de Suède*). Si trattava dell'istmo di Suez!

Libro azzurro.

Tempo — Ogni ano a primavera rimandono suoi lunghi rami. Suoi fiori di Giugno con il seme poi

Dispareri nella pianta — Questa son la istessa descrita da Dioscoride ma pero non ha li rami cosi grossi come narra lui

[La figura di pianta fiorita è mediocre ma fu tratta dal vero, come lo prova un rametto foglioso disseccato che trovasi conservato fra le pagine del codice. Essa è contemporanea a quella che pubblicò il Mattioli pur traendola dal vero e sebbene, come si disse, non sia molto ben fatta, fa vedere un carattere che non fu avvertito nè dal Mattioli, nè dal Rinio che effigiò la pianta alla c. 416 del suo codice, cioè quello dei dentini interni alla base del lembo foliare. Questo carattere da principio era sfuggito allo stesso Michiel perchè la differenza di gradazione delle tinte verdi prova che il disegno delle foglie fu corretto più tardi, aggiungendo i dentini, ed un'altra prova l'abbiamo nella diagnosi in cui non se ne fa parola.

Non teniamo conto della figura data da Andrea Marini perchè essa è copiata da quella di Mattioli, come risulta dalle seguenti parole: « Scamoniae imaginem nullus hactenus ex herbarijs quod equidem sciam pictam tradidit. Nobis autem hanc Byzantio addatam dono dedit Georgius Liberalis pictor egregius et mihi perfamiliaris, quae Dioscoridis historiae omni ex parte consentire videtur, consimilem quoque ostendit Petrus Antonius Michaelius patritius venetus... »

Il Mattioli rispose: « M. Andrea Marini nelle sue Annotazioni sopra Mesue mette questa medesima pianta, dicendo haverla ricevuta da M. Giorgio Liberale pittore il quale ha dissegnato la maggior parte delle figure di questo nostro volume per non haver forse egli saputo che il Liberale l'haveva presa dal nostro giardino ».

Da ciò può dedursi che le figure date dal Mattioli e dal Michiel sono contemporanee o quasi, ma d'altra parte la questione della priorità diventa oziosa (¹) ora che sappiamo essere stata la scammonea figurata, benchè imperfettamente, un secolo prima dei nostri due botanici, da Benedetto Rinio.

(¹) Notiamo che nel 1550, prima del Mattioli, l'Anguillara ne fece nascere una pianta da semi avuti di Siria. Dice di averla anche veduta negli orti di Lorenzo Priuli a Padova e Giulio Moderato a Rimini.

Libro azzurro.

Tutti tre gli iconografi trascurarono il carattere delle bratteole pedicellari che pur trovasi in altri convolvoli.

Il Michiel ottenne la pianta da semi che accidentalmente si trovavano racchiusi nel succo concreto di scammonea spedito da Aleppo da Francesco Martinelli (Cecchino dall' Angelo)].

N. 50 [*Melia Azederach* L.]

Nomi — Sico moro fratesco et Albero di lagrime di Santo Agioppo vel Job da volgari — Ostria Plinio dal Anguillara.

Genera — Io non scio come si habbi usurpato questo nome di seco moro, non havendo niuna corispondentia con li sico mori inanti nominati si nella forma come ne poteri suoi.

Luogho — Diconsi che li Zoccolanti li condussero da Portogallo per bisognio loro da infilzare pater nostri. Et hora per Italia oltre li giardini di simplici che per sua vaggezza li tengono se incominciano anche ponerli nelle campagnie per sustentare le viti.

Oppinioni — L' Anguillara mi disse esser l' Ostria di Plinio perche il fruto vol dire di Chacris et non di Orzo

Virtu -- Gli profumieri raddoppia la quantita di suoi fiori con li fiori di gensamini bianchi [gelsomini] lambicandoli per far aqua perfettissima odoriffera. Di suoi fruti over nuclei infilzati se ne fanno corone di pater nostri.

[Intero albero con frutti immaturi, portante animali fantastici tra' quali un uccello a due teste e due piccoli mammiferi con lungo grugno di tapiro, canini di cignale, dita unguicolate, coda di castoro. A destra una buona figura di ramoscello con foglie e fiori ed a sinistra un ramo fruttifero.

In complesso questa figura è migliore di quella data dal Mattioli col nome di *sicomoro falso*. Se ne occupò il Targioni-Tozzetti a pag. 185 dei suoi *Cenni storici.*

A ragione il Michiel censura coloro che ritenevano questa pianta una specie di sicomoro Anche l' Aldrovandi nel suo Erbario (II, 261) la chiama *Sycomorus perperam.*

A proposito di quanto dice il Michiel sulla diffusione di quest' albero ne' giardini de' semplici, notiamo che al tempo del Ghini esso c' era all' Orto botanico di Pisa col nome *Lotus arbor vulgo Sicomorus*

Libro azzurro.

e che, mezzo secolo dopo la morte del Michiel, il P. Dionisio Veglia lo segnalava come una delle piante più cospicue di quell'orto].

N. 59 [*Anagyris foetida* L.]

Nomi — Anagyro da Greci — et tutti li altri nomi notati indriedo al Egano [N. 58] — Albero del fajuol da molti — Faba inversa da altri — Faba lupina da herbari dove si ritrova in Puglia.

Genera — Sonno tenute per spezie insieme di anigiros questo et l'Egano silvestre

Luogho — Nasce in Puglia sanza cultura a Crepina et a Torre di Regnana [località tratte dall'Anguillara] et in Candia ne sonno molti.

Tempo — A primavera rimanda suoe frondi, li fiori di Maggio et suoe silique poi

Generatione — Rimanda abasso che si possono transportare. Et di suoi semi che di moltissimi mi sonno nati ma con difficulta ci vivono di qui a noi

Oppinioni — *L'Anagiro il Mattiolo lo dipinge a N. 981 con li graspi come l'Egano, non li fa, ma al modo che sonno quivi dipinti forsi non li hanno veduti dico li suoi fiori*

Dispareri nelle piante — Questo albero viene tenuto per l'Anagiro di Diascoride ma nelle [nè le] frondi ne il fiore si acordano al suo detto, o che lui non ha dato someglia [diagnosi] propria o che questo non son il suo Anagiro.

Virtu — De suoi fagioli le pace [pazze] femine ne fanno incantamenti et herbarie et ne sonno stati venduti fino a uno scudo uno de suoi grani, nel resto legi da driedo N. 58

[Pianta fiorita, a sinistra una bella figura di infiorescenza accompagnata da foglie fatta allo scopo di correggere l'errore del Mattioli il quale figurò la pianta con lungo grappolo somigliante a quello dell'avornio. Notevoli per esattezza la forma e la tinta del vessillo e della carena. Non sono figurati i frutti, ma nella diagnosi è detto « suoe silique che portano suoi semi simil al fasuol turco ma minore ». Non vi è invece fatta parola dell'odore della pianta, caso strano perchè il Michiel era accuratissimo nel registrare gli odori ed i sapori perchè, come egli si esprime, son caratteri che il pittore non poteva ritrarre.

Contuttociò la figura dimostra la piena conoscenza della pianta

Libro azzurro.

e può dirsi la prima fatta con esattezza ([1]), essendo contemporanea e forse anteriore a quella del Mattioli che è in parte fantastica, tanto che il Gesner confrontando la figura mattioliana con un campione proveniente da Montmajour presso Arles ritiene che la vera anagiride fosse ignota al botanico sanese. Dopo il Michiel il Clusio diede una figura abbastanza buona e credette di aver effigiato per primo la pianta, supponendo anch'egli che la *Anagyris* di Mattioli fosse un'altra specie.

Nel testo l'autore ci fa sapere di aver ottenuto la pianta nel suo giardino per via di semi, ma con difficoltà e lo si scorge dal tempo della fioritura la quale normalmente si verifica nei primi mesi dell'anno].

N. 64 [*Platanus orientalis* L. β]

Nomi — Platano over Suffire da Greci — Dulb, Dulbo over Baccam da Arabi — Palma Christi in Ispania — Scotano da Latini.

Luogho — Ne sonno in Sicilia qualli furono portati per il Mar Gionio [Jonio] et ne sonno qualche uno in Italia, in Candia ne sonno in quantita, et io ne ho mantenuto uno nel mio giardineto.

Tempo — Se bene mi racordo [ricordo] non perde fronde. li fruti di Giugno et Luglio.

Amano — In molta humidita et apresso all'acque. et se ne veggono doi alle Scalle d'il Belvedere acanto il corente fiume che scaturisce con vagho artificio al palagio che fu della Santita di Papa Giulio inanti si giunga a Roma et mandano dillettevol et suave ombra. Et chi li annafiassero con vino molto gli gioveriano come facevano i Romani.

Generatione — Germoglia et si rimete. et son albero che rizeve ogni sorte di in Esti [innesti] ma corompono alquanto li sapori.

Dispareri nella pianta — Questo son l'istesso narrato da Theophrasto et da Licinio Mutiano.

Virtu — Suoa ombra son molto soave et dilettevol come si lege che ciascheduno debasi guardare da la polvere che ci nasce dalle

([1]) Imperfettamente è figurata in codici medievali come l'Ἀνάγυρις di Dioscoride. Trovasi nell'Erbario Aldrovandi, Vol. I, fol. 6.

suoe frondi impero [imperocchè] ritirata nelle fauce ci nuoce et anche nell' occhi et orecchie...

[In mezzo ad un paesaggio con caseggiato sorge l'albero fruttifero. La figura non è molto buona, ma ha importanza perchè rappresenta una pianta rara a quei tempi in Italia, come apprendiamo non solo dal Michiel, ma anche dall' Anguillara che ne conta pochi individui nel Veronese, nel Bolognese ed a Padova, quest' ultimo nel giardino di Mons. Torquato Bembo (1).

Un secolo dopo la compilazione del presente codice lo Chabray scriveva del Platano: « in Orbe nostro rara admodum est: nec nisi in divitum hortis apud Italos, Hispanos, Siculos et Constantinopolitanos reperitur. Sic speciosas habent Florentiae pomoeria, Romae, Bononiae, Patavij et Neapolitanae urbis horti ».

Le prime notizie del platano furono date da Marco Polo sotto i nomi di albero del sole o albero secco].

N. 86 [*Crataegus Azarolus* L.]

Nomi — Lazaroli da volgari — Mespili genus da Latini — Aronia da molti — Zaror et Gubera da Arabi — Trigonum et Tricoctum da Greci — Trioco da altri — Pomo imperiale in Lombardia — Tricoccoco il suo frutto da molti — Epimelida da certi.

Genera — Due sonno le spettie di nespolo, una questo chiamato azarolo da zaror nominato dagli Arabi ma per coruptione transcorsa denominasi azaroli. L'altra Setonio [*Mespilus germanica*] et sonno la familiar a Italia tutta. Et cosi intese Dioscoride di queste due ancora et della commune non daro pittura

Luogho — In Sicilia, Aragusi [a Ragusa] in quantita et ho inteso esserne anche con il fruto gialdo a Napoli verso Pe di grota [Piedigrotta] et arimano [a Rimini], Pesaro, et ne Giardini sonno ormai multiplicato et quando prima lo vidi si dimostrava per cosa rarissima.

Generatione — Et fa di mestiero in estarlo [innestarlo] sopra dil tronco del Spin bianco [N. 87] chi vogliono di belli fruti

(1) Questo platano fu cantato in versi da Giovanni Hagius e Pietro Cotichio.

Altre figure della pianta diedero il Belon ed il Trago, un campione si trova nell' Erbario Aldrovandi.

Libro azzurro.

Oppinioni — Legesi che Serapione posse [pose] il Sorbo in vece di Nespolo per li atributi gli diede.

[Sopra una verde spianata un albero fiorito e fruttifero. A sinistra un ramo fiorito, a destra uno fruttifero. Due figurine umane sul prato, una delle quali sostiene il ramo fruttifero, il che porta sproporzione perchè il ramo è in grandezza naturale.

Dalla testimonianza del Michiel ricaviamo che quest'albero fu introdotto in Italia solo nei tempi moderni, probabilmente nella prima metà del sec. XVI (1). Se l'abbiano conosciuto gli antichi è molto dubbio, non essendovi buone diagnosi della pianta chiamata ἄχερδος da Omero, ἀμαμηλίς da Ippocrate, κράταιγος da Teofrasto. Quanto al Setanio (non Setonio) il Michiel segue l'opinione di coloro che, come Mattioli, lo identificavano col nespolo comune, mentre, a quanto pare, il μέσπιλος σητάνειος di Teofrasto è *Mespilus Cotoneaster* qui figurato a N. 145.]

N. 110 [*Diospyrus Lotus* L.]

Nomi — Sebeste spetie da volgari — Loto secondo alcuni — Lauro augusto di Plinio secondo altri — Guaiaco spetie da molti tenuto — Myxarijs da Greci — Abahamſa, Mokaita et Moteica da Arabi.

Genera — De il Sebeste ne son quello di Levante [N. 111] et questo vogliando [volendo] sia spetie di esso. Et di Loti leggi nel libro primo rosso a N. 116.

Luogho — De molti giardini di simplici ne sonno ma io non scio la sua origine.

Generatione — Pocho germoglia ma di suoi nociuoli bene ci nasce et io fui il primo a farli nascere et in grande quantita che li divisi in molti giardini.

Oppinioni — Varie sonno le oppinioni in questo albero. Alcuni lo tiene per spetie di legno santo [*Guaiacum*]. Messer Luca Ghini per spetie di Loto *et il Mattiolo ancora* overo secondo altri per Lauro augusto di Plinio. Et molti per spetie di Sebeste.

Virtu — Se spetie di Sebeste, come al meglio a me apare si

(1) Trovasi un campione nell'Erbario Aldrovandi col nome *Mespilus Aronia*.

Libro azzurro.

acosti gli suoi fruti. considerandoli nel gusto, poleno valere come quegli di Levante inanti a N. 111. Et in alcuni paesi si fanno visco.

[Buona figura di pianta fruttifera. Di qua e di là del tronco due figure di foglie in grandezza naturale, mostranti le due diverse pagine, l'una glabra, l'altra tomentosa. Seminascosta dalla prima foglia una infiorescenza meno bene ritratta. Sull'albero son disegnati cinque animali, tre quadrupedi e due uccelli per dimostrare la bontà dei frutti che l'autore stesso chiama « di dolce sapore » mentre autori più moderni (1) li dichiararono, senza ragione, non commestibili. Il Michiel aveva osservato che anche i fiori contengono materia dolce e perciò li chiama « molto amici delle formiche ».

È naturale che egli studiasse con particolare amore una pianta che egli per primo allevò in Europa e diffuse pei giardini, cominciando coll'Orto botanico di Padova donde il nome di Guaiaco patavino sotto il quale essa fu conosciuta fino al cadere del secolo XVIII. E quell'Orto fu il centro dal quale la pianta si sparse in modo da essere oggidì quasi indigena nel Veronese, nel Mantovano, presso Belluno (2).

Contemporaneo al Michiel, il Mattioli riceveva campioni da Costantinopoli sotto il nome di « Dattero di Trebisonda » e dava pur una figura della pianta. Nel 1635 l'albero era notato fra le piante cospicue dell'Orto botanico di Pisa.

Un secolo dopo il Michiel, lo Chabray ne diede una figura poco esatta per la forma dei frutti, ritraendola da una pianta fatta nascere a Montbéliard con semi provenienti da Padova (3).

Due secoli dopo il Michiel, il Miller si procurava semi pur da Padova e diffondeva così la pianta in Inghilterra, non riuscendo però a farla fruttificare, come si scorge dalla figura da lui lasciata. Nella descrizione egli dice che la si crede originaria d'Italia ma che, dietro migliori informazioni, egli la suppone importata dalla Mauritania ove trovasi spontanea. Il Miller non seppe chi fosse stato l'im-

(1) MÉRAT e DE LENS, *Dictionnaire de matière médicale*, Brusselles, 1837.

(2) Nella villa di Cusighe vegeta una pianta la quale, malgrado il clima montano, porta frutti saporiti.

(3) Lo Chabray accenna ad un'altra pianta che cresceva nell'Orto Wagneriano di Moudon, senza però dirne la provenienza.

portatore perchè se ne era perduta la memoria che, a merito del Marsili, fu ristaurata.

Il Miller parla di due vecchi alberi di *Diospyrus Lotus* che ai suoi tempi (1771) vivevano all'Orto botanico di Padova. Uno è quello piantato dal Michiel e veduto dal Falloppia verso la metà del sec. XVI, l'altro fu piantato oltre un secolo dopo dal Viali. Ambedue le piante hanno ormai subito la sorte comune.

Nella diagnosi il Michiel dice che i frutti sono gialli, ma nella figura vi sono rami a frutti gialli e rami a frutti azzurri, i quali ultimi probabilmente furono aggiunti dopo, quando l'Autore riconobbe esistere le due varietà di colore. È notevole il fatto che in alcuni libri moderni si ponga come carattere specifico ora l'una, ora l'altra tinta. Avendo avuto agio di esaminare lungo tempo la pianta, il Michiel fu in grado di perfezionare le sue conoscenze intorno ad essa, ma si limitò a far gli emendamenti nella figura, dimenticandosi di correggere la diagnosi. Una riprova la abbiamo nei fiori che nel testo son chiamati « verdi » e nella figura furono tinti in bruniccio].

N. 111 [*Cordia Myxa* L.]

Nomi — Sebeste da volgari et latini — Mixaria et Mahalomagiata da Greci — Faulis Sebesten da Arabi — Mamilla cannis [canis] da Persi — Schvvartz brustbeerle da Tedeschi.

Genera — Sarebbe due spetie questa una et quella inanti dimostra chi volesse fusse spezie di Sebeste piui presto [piuttosto] che altro N. 110.

Luogho — In Alesandria et Soria dunde sonno portati a noi

Tempo — Mi naque di suoi semi et mi pare sempre stia verde ma pero non lo afermo perche mi morse [morì] con il grande fredo. suoi fruti io ho sentito che nascono molti insieme in cima i rami come in panochia et me lo disse il Falopia.

[Pianta fruttifera sorgente in un prato con figure di uomini nudi e di animali. A parte un ramo con foglie e frutti. Benchè il Falloppia avesse giustamente descritta l'infruttescenza, il Michiel la figurò come grappolo semplice; contuttociò la figura è migliore dal lato scientifico di quella del Rinio (c. 414) nella quale solo i frutti sono legittimi e le foglie son fittizie. Sarebbe riuscita ancor migliore se il Michiel avesse preso cognizione di quella data dal Mattioli, ma questa figura

Libro azzurro.

fu pubblicata dopo la presente nell'edizione del 1568 che il Michiel consultò quando ormai la pittura era fatta. Infatti il Mattioli nell'edizione precedente del 1560 all'articolo *Prunus* dice del *sebesten* da lui riguardato specie di pruno: « nunc vero non ubique familiares, sed raris admodum hortis et viridarijs virent » e non ne dà alcuna figura, mentre in quella del 1568 dice: « Ma hora non so io che s'habbino i Sebesteni in verun horto d'Italia. Fummene mandato un ramo seccho con i frutti dal clarissimo medico M. Gabriele Falloppia di Padova, di cui è qui la figura ». D'altra parte il Marini che copiò la presente figura del Michiel ne scrive: « si Myxorum (Sebesten arabes vocant) plantam ad vivam effigiem expressam ostenderemus quam nemo hactenus, quod equidem sciam monstravit eius nobis sicut et aliorum multorum copiam fecit insignis vir probitate ac meritis Petrus Antonius Michaelius, quem antea saepe nominavimus ».

Rammentando ciò che dicemmo nell'introduzione, che il presente Codice fu cominciato intorno al 1550, tenendo presente altresì che il Marini pubblicò l'opera sua nel 1562 e facendo gli opportuni confronti delle asserzioni dei tre autori, possiamo trarre le conseguenze: 1ª Il primato della conoscenza della specie spetta al Falloppia, — 2ª Il primato dell'iconografia spetta al Michiel.

N. 114 [*Pistacia vera* L.]

Nomi — Pistachier da volgari — Pistacia da Greci — Pisthoc, Fustech, Siusitach da Arabi — Fistucia da Latini — Therebinto indiano da Theophrasto.

Genera — Sonno di molti che pongono per spetie di silvestre pistacchio il seguente stafilodendro [*Staphylea pinnata* al N. 115].

Luogho — Son Arbore Surian [siriaco] et sonno di Giardini per Italia che ne custodiscono come il clar. M. Francesco Mauroceno nel suo vaghissimo giardino in Murano. *Et ne sonno in Egipto*

Generatione — De suoi fruti nati qui mi son nasciuto.

[Figura di albero fiorito e fruttifero con scoiattoli che si arrampicano e ne mangiano i semi. A parte due rami, uno con foglie e fiori, l'altro con foglie e frutti. In complesso le figure sono inferiori per bellezza a quelle del Rinio (c. 176), ma più esatte nell'infiorescenza. I frutti della figura del Rinio appartengono alla varietà orientale e quelli della presente figura alla varietà nostrana; lo av-

Libro azzurro.

verte l'autore colle parole: « Et questo che nascono in Italia sonno minor et come rotondi ». Non sappiamo se il disegno sia stato tratto dalla pianta coltivata nel giardino del Michiel o da quella del Morosini di cui è parola nel testo e che fu anche veduta dal Brasavola il quale dice: « *Nos Venetijs in aedibus Magnificorum Patritiorum Petri ac Francisci de Morosinis quas Murani habent, vidimus. Illuc me duxit Rev. Praesul Hieronymus Morosinus vir ingenti probitate insignis. In Syria propriae nascuntur et ex Syria recentes surculos praedicti nobiles afferri curarunt* ».

L'autore nostro ci avverte nel testo che il pistacchio era coltivato in altri giardini oltre il suo e quello del Morosini e ciò spiega il fatto della fruttificazione di questa pianta dioica, perchè gl'individui maschi fornivano ai femminei il polline che, come l'esperienza dimostrò, può traversare gran distanze. Nulla ci dice qui il Michiel della fecondazione artificiale che fu descritta sì chiaramente un secolo dopo dal Boccone e di cui si ignora l'inventore perchè il Boccone stesso ne parla come di una pratica ormai nota in Sicilia e da lui semplicemente osservata [1]. Pare dunque che nel secolo XVI fosse ancora ignota nel Veneto dove la pianta era stata da poco introdotta, mentre in Sicilia era naturalizzata fin dal primo secolo dell'èra nostra. L'idea di una fecondazione artificiale dovea venir naturalmente dall'osservare che non tutti i pistacchi dànno frutto, il che portava ad imitare ciò che ormai si faceva nell'Egitto per le palme dattilifere e nella stessa Sicilia per i fichi [2].

Se il pistacchio nel Veneto era nel secolo XVI una pianta rara, al di là delle Alpi era ancora meno conosciuto, tanto che un secolo dopo il Michiel, lo Chabray, pur dandone la figura a pag. 19, dubita se sia il vero pistacchio ed a pag. 597 dà l'effigie dell'olmo colle parole: « *Quos autem hic pingimus ramos Lutetiae Pistaciae nomine accepimus* ». E più curioso è il fatto che a pag. 59 vi è la descrizione dell'*Ulmus* con una figura inesatta che par fittizia!

---

[1] « Sogliono in Sicilia fecondare ed ingravidare questa specie d'Arbore nel seguente modo: Attendono che il Pistacchio femina habbia i fiori aperti ed all'hora.., » Il Boccone descrive cinque differenti metodi di fecondazione artificiale, il che prova che l'invenzione non datava da pochi anni.

[2] Il Boccone parla anche di queste due fecondazioni artificiali e dice che quella dei pistacchi chiamasi a Girgenti *turchiariare*.

Libro azzurro.

N. 136 [*Cercis Siliquastrum* L.]

Nomi — Charober salvatico da volgari — Arbor Giuda da Latini — Fanfalugo da molti — Acatia prima del Mateolo — Chaharliub arabice — Carnub da Greci — Xilocaracta, Siliqua, Keratium, Faba siliqua da altri — Vaginella, Carumba da Latini — Albarella sul Vesentin [Vicentino].

Genera — Il salvatico carobo si tengono questo. Et il sativo [*Ceratonia Siliqua*] le suoe silique sonno familiar con foglie dure tonde con fior bianco poi il fruto di Caroba chiamate cornachie marine con legno duro et toltoso.

Luogho — Ne monti Padovani in grande quantita. Et in Italia ancora.

Tempo — Suoi fiori vengono inanti le foglie di Aprile, et alquanto da poi suoe silique

Oppinioni — Il Mattiolo lo dipinge con le spine per Acatia prima. Et Messer Marchio eccellente giardiniero della Illustrissima Signoria nostra se ne ride et beffa et me lo disse lui. *Pur a Costantinopoli dunde l'hebbe lui potrebbe fare spini ma per quello ho inteso da altri non ci fa.*

[Pianta con foglie e fiori. A parte due ramoscelli, uno con foglie e fiori, l'altro con due legumi, però più sopra l'autore avvertì essere i fiori precoci e nella diagnosi li paragona a quelli della ginestra « di ginistra ma purpurei » riconoscendo nella corolla una forma prossima alla papilionacea tipica.

Le figure date dai contemporanei ed anche da botanici posteriori sono od incomplete od inesatte. Il Mattioli, come è detto nel testo, fu riprovato da Melchiorre Guilandino per aver fatto una figura di pianta spinosa (1) dietro un campione ricevuto da Costantinopoli, mentre la pianta era frequente in Italia come apprendiamo dal Michiel ed in Francia ed in Ispagna, come apprendiamo da Pena e Lobetio (2). Un secolo dopo lo Chabray diede, col nome « Arbor iudaica » una figura con fiori e frutti, ma senza foglie, benchè avesse coltivata la pianta a Montbéliard e l'avesse osservata in vari giardini.

(1) Fece le spine di fantasia, dietro l'idea che la pianta doveva essere l'acacia degli antichi.

(2) Anche questi due autori criticano il Mattioli, osservando che la pianta è frequente in Toscana, patria del botanico. Valeva dunque la pena, dicono loro, di farsela venire da Costantinopoli?

Libro azzurro.

Conchiudendo possiamo dire che il primo botanico il quale ebbe cognizioni esatte sulla figura della pianta, la forma delle foglie e dei fiori, il tempo della fioritura ecc. fu il nostro P. A. Michiel.

Quanto al nome *fanfaluga* qui usato, osserviamo che un secolo prima indicava una pianta ben diversa (*Rhamnus Frangula*), poi indicò la specie presente come da altri documenti. Più tardi perdette ogni significato specifico e servì ad indicare quei rami leggeri e fragili che servono per far fascine, ora poi ha quasi perduto qualunque significato proprio e si usa per lo più in metafora.

Il nome *albarella* forse proviene da un equivoco, perché esso si dà a *Populus Tremula* L. che il Mattioli credette essere il κερκίς di Teofrasto, mentre il κερκίς è il siliquastro qui dipinto].

N. 155 [*Celtis australis* L.]

Nomi — Loto tenuto da molti — Bagolaro a Trento — Perlaro nel Veronese — Celtis da Latini — *Almez da Spagnioli — Celtis da Latini — Sadar et Alsadar da Arabi*

Genera — Con questo nome di Loto ne sonno varieta si di arbori come di herbe. Et legi nel libro primo purpureo a N. 116

Luogho — In Lombardia ne sonno per le possessioni et alla Zudecha [Giudecca] a S. Giacomo. Et era anche a S. Giovane [Giovanni] ma son mancato il grande ne son uno bellissimo in Campo sopra il Canal Grande

Oppinioni — L'Anguillara N. 74 fa uno discorso lunghissimo in questa materia di Loto. Et non vole che questo perlaro sia il Loto di Theophrasto et il Loto di Atheneo vol sia quello di Faride di Theophrasto che son le Giuggiole domestiche *ma il Mathiolo a N. 277 li dice contra et lo confonde*

Dispareri nelle pianta — Questo non disconviene alla pocha discretione che ci ha narrato Diascoride d'il Loto

[Figura d'albero con tronco mozzato e vari rami con foglie e frutti. A parte una foglia in grandezza naturale. Poca accuratezza nel disegno e nel colorito, mentre un secolo prima il Rinio avea dato a c. 98 del suo codice una bella figura di ramo fruttifero sotto il falso nome di *faggio*.

Degli alberi alla isola della Giudecca qui nominati parla anche il Belonio, soggiungendo che ivi la pianta chiamavasi Bagolaro, di-

Libro azzurro.

modochè se anche l'origine della parola è trentina, come asserisce il Michiel, essa ormai era usata a Venezia nel sec. XVI. È quindi singolare che il Boerio la abbia dimenticata nel suo dizionario ove pur si trovano il verbo *bagolar* (tremolare) ed il sostantivo *bagolina* indicante le mazze flessibili che si fanno col legno di quest'albero e che agitate nello spazio fanno vibrar l'aria, producendo un suono sordo.

La minuta esposizione delle località fatta dagli Autori prova che a que' tempi l'albero era piuttosto raro nel Veneto, mentre oggidì esso è ampiamente coltivato pei suoi rami coi quali si fanno mazze e manichi di fruste. Nel Padovano è chiamato *bessolaro*].

N. 160 [*Quercus coccigera* L.]

Nomi — Grana para tenir da Spagnioli — Cocus baphica, Granum infectorium da Greci et Latini — Carmes, Kermes da Arabi — Scharlach ber [— beere = bacca da scarlatto] da Tedeschi — Vermillon da Francesi — Chervach da Dalmati.

Genera — Di grana sara questo arbusto. Et sonno varie spetie la produce, quella che dice Diascoride nascer nelle quercie. Et della pimpinella ancora. Una altra spetie si porta nuovamente dalle Indie occidentali che potria esser quella pungente ho dimostra nel libro giallo a N. 144

Forma — Son arbusto assa di grossa radice. Et tronchi con foglie che tira al quanto all'aquifolio ma non pungente, con rotondi frutini poi che di essi se ne cavano la grana.

Luogho — Io di questo arbusto ne hebbi uno ramo secho et insieme la discretione [descrizione] con queste parole quivi scritte dal Ch. M. Antonio Barbarigo fu bailo a Costantinopoli et disse nascerne verso Andernopoli [Adrianopoli] ne boschi loro. Et questa potria esser quella che narra Plinio nascere in Aphrica et quella di Diascoride che nasce nelle quercie in Cilicia, ne sonno anchora in Boemia et Polonia.

Tempo — Sempre verdeggia. Et suoi fruti l'Esta qualli stano lungho tempo sopra l'albero.

Generatione — De suoi fruti da se caduti ci nasce.

Oppinioni — Quello che si dimostra nelle spetiarie non si rasembra a quella che narra Diascoride — se ingana li reverendi

Libro azzurro.

Padri [1] intorno alla Grana et il Cremesina, credendo che ci siano differenza insieme. Et [non continua]

Dispareri nella pianta — Et perche io ho havuto la discrecione diversamente cioe esser albero et non pongente lo posto quivi [e non pungente l'ho posto qui]. Et altri con foglie spinose pero lo posto anche al luogo delle piante spinose [cioè alla fine del libro giallo].

[Pianta con foglie e cogli insetti parassiti (*Coccus Ilicis*) collocati alle ascelle foliari, dietro l'idea che fossero frutti, idea che troveremo ribadita al N. 144 del libro giallo colle parole « di fruti di granna ci nasce » benchè in quel libro il Michiel mostri di sapere che quei corpi rossi lasciati a sè producono insetti. Questo errore durò a lungo, benchè un contemporaneo del Michiel [2] li qualificasse giustamente come animaletti ed ancora prima di lui tali li ritenesse il popolo, chiamandoli *vermi*, donde la parola *vermiglio* indicante il colore. Altri due contemporanei del Michiel, il Pena ed il Lobelio asserirono che la grana non era nè frutto, nè seme, ma « excrementum ilicis » che poi si trasforma in moscerini, assimilandola alle galle, come più tardi fece il Fagon. Durante li chiamò *bacche*.

In altro luogo si parlerà delle tre piante coccifere di Anguillara e della loro identificazione. Qui l'autore parla di un'altra specie di grana tintoria, di cui parla anche il Mattioli, proveniente dalle Indie occidentali che è la cocciniglia (*Coccus Cacti*) ma mostra di non conoscere su qual pianta si trovi, benchè questa pianta sia da lui figurata nel libro giallo N. 121. Solo, forse per aver sentito dire che era pianta spinosa, arrischia l'opinione che sia la « pianta propria » figurata nel medesimo libro N. 144 che invece è identica alla presente.

La figura data in questa pagina è inferiore a quella del Rinio c. 172, ma superiore a quella molto infelice che diede, un secolo dopo il Michiel, lo Chabray. Che la pianta fosse poco diffusa abbiamo la prova in ciò che nel secolo XVII era notata fra le più cospicue dell'Orto botanico di Pisa.

---

(1) Bartolomeo da Orvieto e Angelo Palla da Giovinazzo commentatori di Mesue iuniore (Venezia, 1543).

(2) QUINQUERANO, *De laudibus Provinciae* (Parigi, 1551).

DELLA

PROTEZIONE OFFERTA DAI PARAFULMINI

E DI ALCUNI QUESITI

SULLA NATURA DEL FULMINE

MEMORIA

del Prof. IGNAZIO GALLI

I. — La storia del parafulmine è piena di liete speranze, di paurose diffidenze, di contradizioni scientifiche, di lotte ispirate da passioni o da pregiudizi. Ai giorni nostri non può nascere alcuna questione che divaghi dai confini della scienza: e così da circa un trentennio si torna ogni tanto a discuterne la teoria. Ciò vuol dire che la teoria stessa racchiude ipotesi più o meno incerte, e che esige ulteriori studi di accurate ed assidue osservazioni. Con questa memoria non pretendo di risolvere le questioni dottrinali, che mutano aspetto ad ogni nuova scoperta: intendo solo di porle a confronto coi fatti osservati, che restano inalterati nel tesoro della scienza. Credo pertanto che un'oc-

chiata alla via percorsa, in un secolo e mezzo di ragionamenti e di prove, possa preparare la soluzione pratica di qualche dubbio intorno alla maggiore o minore efficacia dei sistemi fino ad ora proposti e sperimentati. Sarò costretto a ripetere cose già note: ma capiterà anche l'occasione di render giustizia a parecchi e valorosi dotti, dimenticati o fraintesi, e di sollevare qualche grave sospetto sulla saldezza delle nòstre cognizioni ceraunologiche.

Prendo le notizie dagli scritti di molti autori reputatissimi, che indicherò brevemente quando sarà utile o necessario: ma, salvo casi speciali, mi asterrò dalle citazioni minute, perchè troppo numerose e di soverchio ingombro.

II. — Appena Beniamino Franklin ebbe lanciato nel 1752 la prima idea dell'apparecchio protettore contro il fulmine — deducendola dalle manifestazioni elettriche delle nubi e dalla azione delle punte metalliche — i suoi arditi e fortunati esperimenti, e quelli del D'Alibart e del Desor suggeriti dallo stesso Franklin, furono subito ripetuti e variati in Francia, in Inghilterra, in Italia, in Germania, e poi nella Russia e nell'Olanda. La maraviglia fu assai grande: ma nelle regioni europee, salvo un solo tentativo, s'incominciò ad armare qualche edificio molti anni più tardi. A Filadelfia invece e in tutta l'America Inglese il palo frankliniano, che allora veniva detto *il conduttore*, ebbe fin da principio larga e fiduciosa accoglienza. Andrea Burnaby, nella relazione del suo viaggio compiuto dal 1759 al 1760, ne magnificava il numero e gli effetti salutari senza un'ombra di dubbio: e nell'ottobre del 1772 il Franklin ne scriveva da Londra al professore O. B. De Saussure con grande e sicura soddisfazione.

E qui è da notare che quei primi parafulmini erano interamente fatti di ferro o di acciaio, dalla punta allo spandente affondato nel terreno umido, e che lo spandente stesso non era altro che la semplice continuazione del filo conduttore, cioè di superficie assai piccola e presto irrugginita. Ne resta così spiegato il deperimento.

III. — In Europa il parafulmine s'introdusse a stento. La Società Reale di Londra, che per avversione al fermento politico delle Colonie americane aveva già rifiutati altri lavori del Franklin, non fece buon viso all'annuncio che ne presentò il dott. G. Mitchell: e i più arguti londinesi gareggiarono nella propagazione di caricature e pasquinate. Negli altri stati scarse approvazioni e lunghe dispute, massime dopo l'imprudente e funesto esperimento del Richmann a Pie-

troburgo nell'agosto del 1753. Tuttavia le *Lettere* del Franklin al dott. Collinson, tradotte in tutte le lingue europee ed anche in latino, erano avidamente studiate. Nel 1753 il professore Winkler pubblicò a Lipsia un *Progragma de avertendi fulminis artificio:* e alla metà del giugno 1754 il dotto monaco Procopio Diwisch ebbe il coraggio di erigere a Prenditz in Moravia la prima asta frankliniana, prevenendo di alcuni anni lo stesso inventore, la quale fu subito posta a dura prova da furiosi temporali (Musschenbroek). Dalle ricerche del Friess risulta che quel parafulmine terminava in 324 punte. Una verga di ferro piantata sopra un alto palo si diramava in 12 bracci ricurvi in alto: alla estremità di ogni braccio era fissata una scatoletta metallica con limatura di ferro, chiusa da un tappo di bosso, che restava attraversato da 27 cuspidi di ferro, cosicchè esse avevano la base immersa nella limatura. Una grossa catena congiungeva la verga col terreno. Il primo parafulmine era dunque munito di punte numerosissime, ed oggi un verticillo di poche punte si spaccia per trovato assolutamente moderno. Ma il povero monaco fu anche il primo a scontare la pena della nuova impresa. Alcuni invidiosi gli sollevarono contro una turba di contadini, dando a credere che quel diabolico strumento fosse la vera causa della lunga siccità sofferta in tutta quella regione: ed egli, dopo l'ottima esperienza di sei anni, dovette dolorosamente abbatterlo (Friess).

IV. — Pochi anni appresso i fisici più eminenti d'Inghilterra — Fothergill, Henly, Pringle, Cavendisc, Watson, Mahon, Canton, Nairne, Magellan, Priestley — erano già tutti amici di B. Franklin, e fautori del suo conduttore elettrico. E nel 1762 il dott. Watson, oltre all'avere elevato il primo parafulmine inglese a Pagneshill, ne propose l'applicazione sugli alberi delle navi in una lettera del 18 decembre a lord Anson. Nel 1765 il Franklin entrò solennemente nella *Royal Society* con dispensa dalla consueta tassa di 23 ghinee (L. 608,81), ed ebbe poi la medaglia d'oro *Copley*, cioè il premio più onorifico che quella società di dotti potesse conferire. Le università di Oxford e di Edimburgo gli decretarono la laurea di dottore onorario.

Ma contro l'uomo, che dopo il dispregio riscuoteva così presto il compenso dell'ammirazione, s'era già levato audacemente un accademico della stessa Società Reale, il dott. B. Wilson [1], fanatico cor-

---

[1] Giacinto Magellan, in una lettera a Marsilio Landriani del 30 settembre 1783, dava al Wilson il titolo di *pittore*, e ne faceva un brutto ritratto morale. Vilfrido De

tigiano del giovane re Giorgio III. Al re sapeva di grande amarezza la fortuna politica e scientifica del novatore americano; e il Wilson, a screditare l'invenzione uscita da un paese ribelle, non solo si affaticava a dimostrarne i grandi pericoli, ma andava ancora insinuando che quelle aste aguzze non erano altro che picche insidiose, un emblema di mene repubblicane contro i diritti dell'Inghilterra (MAGELLAN, TYNDALL). Nel 1764 sosteneva che i veri parafulmini dovrebbero terminare con un rigonfiamento sferico, e non mai in punta: e colla protezione del re ottenne dalla Società delle Scienze un largo sussidio per esperimenti, che egli intraprese pomposamente, non già a Londra, ma a Parigi sulla gran cupola del futuro Pantheon, perchè allora nell'Accademia francese prevaleva l'opinione molto autorevole, sebbene apertamente invidiosa, del celebre abate Nollet, il quale non credeva che le punte metalliche potessero sottrarre la carica elettrica alle nubi temporalesche, e forse in ciò aveva ragione. Gli esperimenti andarono a male, cioè senza conclusione precisa: e nondimeno egli piantò sul palazzo Buckingham le sue verghe globifere; e poi coprì con cappello metallico le punte delle aste frankliniane, erette nel 1769 su qualche pubblico edificio da una commissione della Società Reale. « Questo aneddoto farà ridere moltissimo la posterità » diceva il Magellan nella lettera al Landriani. Il sistema del Wilson fu energicamente riprovato anche dal Nairne, da lord Mahon, dal Barbier e dal Pringle, presidente perpetuo dalla Società delle Scienze, al quale fu perciò ordinato di scendere da quell'onorevole seggio.

V. — Verso il 1765 la più parte dei fisici germanici stavano col Franklin: ma Federico il Grande non era dello stesso parere. Egli voleva un parafulmine prussiano, e il professore Reimar, che aveva fatto molte ed importanti osservazioni sugli effetti del fulmine, s'incaricò di soddisfare al capriccio dell'ambizioso monarca. Il Reimar adunque propose di guarnire le costole dei tetti e i cantoni delle case con lamelle di piombo o di rame in serie continua fino a toccare il suolo senza affondarvisi, ed escluse le aste superiori, perchè credeva che attraessero il fulmine. Ma gli accademici di Berlino non badarono alla antipatia del sovrano per una invenzione forestiera, e fecero ar-

Fonvielle lo disse invece *un évêque anglican nommé Wilson*. Non mi è riuscito di decidere quale di questi titoli gli convenisse. Il cappellano maggiore del re era certamente un Wilson.

mare gli edifici pubblici di aste acuminate, lasciando a Federico il vanto di proibirle nel suo castello di Sans-Souci. Al sistema del Reimar furono poi aggiunte le spranghe verticali, ma corte e smussate: e questa forma di parafulmine restò in più luoghi di Germania almeno per un secolo.

VI. — In Italia non si parlò mai di parafulmini diversi dai frankliniani, e lo scolopio G. B. Beccaria di Mondovì — che il Priestley nella *Storia della elettricità* pose al di sopra di tutti gli elettrologi più insigni — fin dal 1753, chiudendo il trattato dell'*Elettricismo naturale*, sosteneva l'utilità dei conduttori aguzzi. Poi, nelle *Lettere* del 1758 a Bartolomeo Beccari sull'*Elettricismo terrestre atmosferico*, introdusse un intero capitolo per dimostrarne il certissimo vantaggio ed indicare le cautele necessarie da usarsi nella costruzione, escludendo però che con una o più punte si potessero dissipare i temporali. (*Lettera* VII, paragr. 329-40). Dopo di lui ne parlò Francesco Jacquier dei Minori verso il 1760 nelle sue *Institutiones Philosophicae* professate al Collegio Romano; e verso il 1766 Ignazio Monteiro gesuita nella sua *Philosophia libera* pubblicata a Venezia.

Ai 17 del giugno 1770 un fulmine danneggiò la cupola della chiesa annessa alla Sapienza di Roma. Quella cupola ne aveva già ricevuti altri tre, e lo scolopio Girolamo Fonda, professore di Fisica nella medesima università, pubblicò subito una pregevolissima *Memoria* per dimostrare l'urgente necessità di ricorrere alla protezione dell'apparecchio frankliniano. I suoi consigli, universalmente dimenticati, prevennero di quasi un secolo i migliori consigli dei fisici moderni. Egli voleva che, oltre alle aste acuminate da elevarsi sul culmine dell'edificio, si piantassero altre cuspidi su tutti gli angoli del tetto, rilegate fra loro e colle aste principali da grossi fili condottori, e che lo spandente seppellito nel terreno umido fosse una grande lastra metallica orizzontale con molte e lunghe punte inferiori [1]. Un

[1] « *Sopra la maniera di preservare gli Edificii dal Fulmine.* Memoria Fisica presentata al Collegio degl'Illustrissimi e Reverendissimi Signori Avvocati Concistoriali da GIROLAMO MARIA FONDA delle Scuole Pie, Lettore attuale di Fisica Sperimentale nell'Archiginnasio Romano detto la Sapienza, in occasione del Fulmine caduto sopra la Cupola della Chiesa contigua e appartenente al suddetto Archiginnasio il dì 17. Giugno 1770. Seconda Edizione. In Roma MDCCLXX ». Pag. 11 e 13-14. — La premurosa cortesia del chiarissimo p Luigi Pietrobono, rettore del Collegio Nazareno, mi ha reso possibile l'esame di questo opuscolo, che io credo assai raro. In pochi mesi se ne

quinto fulmine sulla stessa chiesa e nelle aule della Sapienza servì di perorazione al ragionamento del p. Fonda, e nel 1772 gli fu affidata la direzione del lavoro pel collocamento del primo parafulmine a Roma, che fu anche il primo ad apparire in Italia, seguìto in capo ad un anno da quello di Padova.

Nel 1771 anche l'ab. Giuseppe Toaldo incominciò ad esporre la teoria dei conduttori elettrici col suo *Saggio Meteorologico* dell'anno precedente, e il gesuita veneziano G. B. Toderini diffondeva da Modena la *Filosofia Frankliniana delle Punte preservatrici dal fulmine*. Intanto il granduca di Toscana ne provvedeva i suoi magazzini di polvere pirica sotto la direzione dell'olandese dott. Giovanni Ingenhouz. Nel 1772 l'ab. Toaldo tornava a raccomandarli con una calorosa *Informazione al Popolo*, e il professore Giuseppe Saverio Poli s'ingegnava a dissipare ogni dubbio con un libretto in forma di risposta da Napoli alla *Lettera* pubblicata a Padova dal canonico regolare D. Daniello Avelloni, il quale continuava a credere che il fulmine derivasse dalla istantanea accensione di polvere solfurea mescolata con particelle nitrose e bituminose vaganti per l'aria.

A quel tempo il più operoso apostolo del parafulmine era in Italia l'ab. Toaldo. Egli e il professore Marco Carburi, suo collega nella università di Padova, nel 1773 ottennero dal Magistrato dei Riformatori l'incarico di munirne la Torre Zilia del castello d'Ezelino già trasformata in osservatorio. L'opera fu condotta con criterii perspicacissimi, encomiati del prof. De Saussure, e il Toaldo ne pubblicò la relazione, rispondendo ampiamente a diciotto difficoltà che si potevano opporre al nuovo trovato. Lo imitarono con grande ardore i barnabiti Paolo Frisi e Mariano Fontana, il sacerdote Gaetano De Bottis, l'ab. Atanasio Cavalli, Tiberio Cavallo residente a Londra, gli scrittori della *Antologia Romana* e di altri fogli periodici. Ma sopra tutti si distinse il professore Marsilio Landriani, che nel 1784, per commissione ricevuta dal governo lombardo, pubblicò a Milano una estesa ed eruditissima *Dissertazione*, facendo

---

fecero due edizioni: ma non sembra che fuori di Roma venisse diffuso quanto meritava, perchè lo veggo citato soltanto dall'ab. Toaldo.

Dallo stesso opuscolo si apprende che il p. Fonda già da più anni esponeva agli studenti la teoria del *conduttore elettrico*, e che aveva fatto costruire un modello di casa, armata secondo le sue giustissime idee, allo scopo di spiegare sperimentalmente il sistema.

l'analisi di molti fenomeni, sciogliendo un gran numero di obiezioni e sventando le accuse calunniose degli avversari.

Questa attiva propaganda giovò assai. Nel 1786 l'ab. Bertholon contava 30 edifici con parafulmini a Genova, 23 a Lucca, 20 a Venezia (dove il primo fu eretto sulla Torre di san Marco nel 1776 dall'ab. Toaldo), 13 a Padova, 10 a Milano: e se ne vedevano parecchi anche a Torino, Pavia, Vicenza, Mantova, Firenze, Siena, Roma e Napoli. Ma in Pensilvania la sola Filadelfia già fin dal 1773 ne aveva armate più di 400 case.

VII. — A Ginevra il primo conduttore elettrico fu collocato sopra un albero vicino alla sua abitazione dal professore De Saussure nel 1771: doveva servire da apparecchio protettore e da strumento di ricerche scientifiche. Ma il vicinato se ne spaventò tanto, che egli fu obbligato a scrivere un opuscolo per istruire e rassicurare i suoi concittadini. Una diecina d'anni più tardi tutte le principali città della Svizzera possedevano parafulmini, specialmente Ginevra, Zurigo e Berna. Il De Saussure era chiamato a dirigerne l'impianto anche nelle prossime città della Francia, e perfino il Voltaire ne volle uno sul palazzo di Ferney, forse con segreto rammarico del suo antico ammiratore Federico II: ma prima di farlo erigere aspettò che svanisse la paura di sua sorella (MORVEAU).

VIII. — Il primo parafulmine francese fu posto sull'Accademia di Digione l'8 maggio del 1773 dall'avvocato De Morveau, il quale lo stesso anno ne collocò altri due, sulla sua casa e sopra un campanile. Parecchie città ne seguirono l'esempio. Ma insino al 1782 nessuno n'era apparso a Parigi, dove l'ab. Poncelet aveva sentenziato che bisognava proibirne la costruzione per legge, e dove durò a lungo l'opposizione dell'ab. Giannantonio Nollet e della sua scuola. Parigi ebbe appunto in quell'anno le prime verghe frankliniane, sul palazzo della duchessa d'Ancenis e sul monastero delle Agostiniane Inglesi, per opera dell'ab. Bertholon, che già ne aveva armato alcuni edifici di Lione e di altre città. Qualche mese dopo l'accademico Leroy, che fin dal 1773 se la intendeva col Franklin, riuscì a collocarli sul Louvre e sulle Tuileries, cosicchè molti signori se ne invogliarono. Che anzi nel 1783 il ministro della guerra chiese consigli all'Accademia delle Scienze per provvederne le polveriere, e l'accademia nominò un'eletta commissione di fisici, invitando lo stesso Franklin a presiederla.

Dentro il medesimo decennio i conduttori elettrici furono adottati in tutte le altre città più colte d'Europa: nell'Austria, nella Baviera, nell'Olanda, nel Belgio, nella Polonia, nella Russia, nella Danimarca, nella Svezia e nella Norvegia. Ma Londra n'era fornita più che qualunque altra città.

IX. — In tutte le relazioni del primo trentennio sulla sperimentata efficacia dei parafulmini a punta troviamo costantemente che gli edifici e i vascelli ben protetti andarono sempre salvi, anche se assaliti da temporali violentissimi con fulminazioni rovinose sulle case e sulle navi prossime e non munite Spesso il fulmine attaccò le cuspidi senza alcun danno: talora solo la punta restò fusa o altrimenti deformata, come avvenne anche a quella del primo conduttore eretto dal Franklin sulla casa del signor West a Filadelfia.

Inoltre si fece notare con meraviglia che gli edifici, forniti per puro caso di accessorii metallici somiglianti al sistema frankliniano, non avevano mai ricevuto danni dal fulmine. Il castello del Valentino era appunto in queste condizioni, e il p. Beccaria così ne parlava nel 1758: « Ne' contorni di Torino io non conosco fabbrica più esposta a' fulmini, o sia per la particolare altezza, o sia per l'acutezza del comignolo, o sia per le piramidi infitte sopra di essa (*vestite di metallo e in comunicazione con molti cannoncini di rame discendenti fino al suolo*), o sia anche per la situazione espostissima alle procelle, che frequentissimamente procedono da libeccio. La orientale collina, che non è divisa dal Valentino che dal corso del Pò, quasi ogni anno è fulminata in diversi luoghi, e talora nei luoghi più bassi del Valentino: i soli palazzi del Valentino non v'ha memoria che sieno mai stati tocchi dal fulmine; o, a meglio dire, non v'ha memoria che ne sieno giammai stati danneggiati » [1]. La medesima osservazione fecero il De Saussure pel palazzo pubblico e per le torri della cattedrale a Ginevra; l'ab. Buissart pel campanile di Arras; il p. Frisi e il Landriani per alcuni palazzi di Milano; altri ancora per l'altissimo monumento eretto a Londra nel 1677.

---

[1] *Dell'Elettricismo terrestre atmosferico*, Lettera VII, paragr. 334. — L'ab. Toaldo cadde in un equivoco quando scrisse che il p. Beccaria aveva posto i parafulmini su quel castello prima del 1758. L'Arago, il Sestier ed altri hanno ripetuto lo stesso errore storico. Da un opuscolo del p. Paolo Frisi si sa invece che il p. Beccaria incominciò ad applicare i parafulmini sul Valentino e sopra altri edifici del Piemonte verso il 1780 (*Opuscoli Filosofici*. In Milano. MDCCLXXXI. Pag. 42).

I pochissimi casi di protezione fallita derivarono tutti da qualche gran difetto dell'apparecchio, cioè: o da soverchia sottigliezza del conduttore, o dalle sue interruzioni, o dalle sue piegature ad angolo troppo vivo, o da cattiva comunicazione col suolo, o da masse metalliche esterne ed isolate. Così accadde per la casa del Maine nella Carolina, per quella del Raven a Charles-Town, per un'altra casa a San Domingo, pel castello del conte Torin Seefeld, pel palazzo dell'ambasciatore di Sassonia a Manheim, pel laboratorio dei poveri a Norfolk, per la chiesa della Madonna della Guardia presso Genova, e pel campanile di san Francesco delle Vigne a Venezia quando gli operai lasciarono il conduttore a mezz'aria.

X. — Gli effetti di tali errori tecnici, gonfiati dagli avversari del sistema frankliniano, accrebbero naturalmente la diffidenza popolare, e diedero occasione a scene di spavento e di rivolta. Il De Romas a Nérac e il p. Beccaria a Torino furono presi per maghi e stregoni che chiamavano fulmini. A Padova e a Venezia l'ab. Toaldo, a Digione il De Morveau, corsero lo stesso rischio. A Pavia il professore don Pietro Moscati divenne il bersaglio di acri querimonie e di mordaci satire. A Saint-Omer la plebe tumultuante volle che fosse atterrato il parafulmine del signor Vissery de Bois Vallé, perchè sulla sua casa videro « un appareil surmonté d'une apparence de globe fulminant et terminé par une epée, qui sembloit menacer le Ciel et braver la foudre » (BERTHOLON). A Fano un costruttore girovago ottenne di innalzare quattro o cinque parafulmini: ma per sua sventura un furibondo temporale investì la città prima ch'egli se ne andasse, e vi caddero una ventina di fulmini. Sebbene tutte le case armate restassero salve, il popolo esterrefatto impose al governatore di far distruggere immediatamente la supposta causa del disastro.

In più luoghi d'Europa l'asta frankliniana veniva additata col nomignolo di *palo eretico*: e in Sassonia il professor Güden, a calmare gli animi scandalizzati — perchè vedevano nel parafulmine un conato di ribellione contro i divini decreti, presi ignorantemente nel senso pagano — dovette pubblicare l'elenco dei sacerdoti, la più parte italiani, che, senza scrupolo di sorta e senza rimprovero dell'autorità religiosa, favorivano apertamente l'uso dei conduttori elettrici.

In alcune città, come a Siena e a Firenze, i pregiudizi popolari furono vinti dallo stesso fulmine, che scese regolarmente pel conduttore e andò a seppellirsi nel suolo.

XI. — Fin da quel tempo le modificazioni sperimentate o semplicemente suggerite, per accrescere efficacia ai parafulmini ed agevolarne la costruzione, non furono poche. Si pensò di fissare le cuspidi su lunghe antenne intorno alle case, e il p. Fonda nella sua *Memoria* del 1770 ne riprodusse la figura, in cui si vede un verticillo di punte, similissimo a quelli di recente invenzione. Nel 1776 l'abate Toaldo consigliò anch'egli le antenne intorno alle polveriere, e il suo consiglio ebbe poi molte lodi a Parigi dalla commissione accademica del 1823. Nel maggio del 1782 un certo signor Schachmann le piantò vicino a due granai spesso fulminati, e fecero ottima prova (SESTIER). Nel 1790 l'americano Roberto Patterson, per impedire la fusione delle punte, incominciò a farle di grafite, e n'ebbe un premio: ma non riuscirono buone.

Il De Morveau, il Fodéré e il Güden tentarono invano di trasformare in parafulmine gli aquiloni e i razzi pirotecnici, legati a funicelle conduttrici, colla pretesa di difendere così una città intera. L'esperimento aerostatico del 1783 ne ridestò la speranza. Gli stessi fratelli Giuseppe e Stefano Mongolfier iniziarono i tentativi, immediatamente continuati dal Bertholon, dallo Charles, dal Carra e dal Landriani. Nel 1784 il De Saussure se ne riprometteva ancora molti e grandi vantaggi: ma i risultati non corrisposero alle previsioni.

L'ab. Bertholon si studiò allora di risolvere un altro problema. Egli sapeva che qualche volta i fulmini, invece di precipitare dalle nubi, escono dal terreno e salgono in alto: e nel medesimo anno 1783 immaginò un apparecchio a doppio effetto, che chiamò *garde-tonnerre*. Al conduttore del comune parafulmine doveva saldarsi una seconda verga, inclinata verso terra con angolo di 45° sul tratto inferiore. Anch'essa doveva terminare in punta, o meglio in più punte a verticillo. Pare che il conte di Buffon e Gueneau de Montbeillard l'approvassero, perchè ne fecero eseguire il disegno: ma quattro anni dopo il Bertholon ne parlava ancora come di un semplice progetto.

XII. — Qualche anno appresso l'ab. Bertholon riduceva tutti i fenomeni meteorici ad una sola origine, cioè alla elettricità: ed amplificando la nuova ipotesi sulla generazione elettrica della grandine — avanzata dal Montbeillard, accettata anche dal Morveau e dal Buissart — si affaticò a sostenere che con grosse ed alte verghe metalliche acuminate si potrebbe giungere ad impedire, o almeno a diminuire la produzione di quel terribile flagello. Sorse così la prima idea

dei paragrandini ed ebbe appassionati fautori, non solo in Francia, ma anche in altre regioni d'Europa. Le accademie di Digione e di Arras furono larghe di lodi; Antonio Pinazzi di Mantova ne divenne convintissimo propagatore nel 1788; e nel 1790 il professore Schiferheld di Norimberga era della stessa opinione. Ma non trovo che si facessero speciali sperimenti, e forse per una ventina di anni non se ne parlò più.

XIII. — Sul principio del secolo XIX girò per l'Inghilterra una proposta stranissima: coprire la cima delle verghe con un globo di vetro per evitare la scarica fulminante. Se ne tentò la prova a Doncaster sopra un campanile, che fu presto demolito quasi per metà dal fulmine. Ed è assai più strano che nel 1839 la stessa proposta ripullulasse come novità scientifica da applicarsi agli alberi delle navi, meritandosi naturalmente il disprezzo dell'ammiragliato.

Queste stravaganze non erano che l'esagerazione di altre più antiche e più bizzarre. L'ab. Nollet in una lettera al De Romas aveva consigliato ai paurosi di costruire i muri della casa coi rifiuti delle vetrerie, cementati da un miscuglio di pece, resina, cera e sabbia. E l'Arago ricorda che furono anche consigliate e fabbricate grandi campane di vetro, sotto le quali potevano rifugiarsi i paurosi al sopravvenire del temporale.

Nel 1801 l'Hauch voleva abolire del tutto le spranghe d'ogni sorta e disporre soltanto grossi nastri di rame dai comignoli al suolo. Poco dopo il Morgan ne modificava alquanto il concetto, proponendo che le pareti esterne fossero circondate in alto e in basso da fasce orizzontali di piombo, e che altre fasce simili corressero dai comignoli su per le costole del tetto e discendessero verticalmente fino a terra (Sestier). Essi anticipavano così di circa 75 anni il sistema del professore G. Clerk Maxwell.

In Olanda invece si desiderava che un buon numero di verghe aguzze, tutte rilegate da cordoni metallici, venissero disposte sul perimetro e nel mezzo delle città: e nel 1811 B. Cook pretendeva che alti e grossi pali di metallo si piantassero a cinque o sei miglia di distanza su tutte le alture di ogni stato. Per agevolarne la spesa, e farli servire anche da paragrandini, si pensò di ridurli a semplici punte fissate sulla cima degli alberi.

XIV. — Ma il signor Lapostolle non se ne appagò. Pei paragrandini — tornati in grande onore nella Francia meridionale, nella Svizzera

e nell'Italia settentrionale — egli scoprì verso il 1818 l'eccesso del risparmio. Bastavano una lunga pertica, una cuspide di legno duro e un canapo di paglia. Cosi ogni contadino poteva costruirseli e moltiplicarli quasi senza spesa. Al professore Thollard di Tharbes non parve però abbastanza sicura la cuspide di legno, e nel 1821 vi sostituì una punta di ottone, e alla corda di paglia intrecciò alcuni fili di lino crudo.

Contro questa soverchia e pericolosa semplicità insorsero molti fisici italiani e francesi, specialmente il professore Francesco Orioli di Bologna, il quale dal 1820 al 1826 dedicò tutta la sua attività scientifica ed oratoria alla diffusione dei paragrandini metallici. L'Europa centrale e meridionale ne era tutta gremita: la fiducia degli sperimentatori ammirabile. Eppure in capo a qualche anno tutta quella fioritura di belle speranze intristì, e poi sparì per sempre: nacquero allora i più forti dubbi sulla teoria elettrica della grandine. La stessa disillusione si è avuta di recente per gli spari grandinifughi, la cui vaga ipotesi rimonta alle coincidenze fortuite avvertite dal conte di Forbin nel 1680. Al congresso degli spari, adunato in Casalmonferrato nel novembre del 1899, io non vidi altro di serio che la fede subiettivamente irremovibile dei cannoneggiatori: le statistiche erano magre ed incerte, le teorie fantastiche. Ed oggi quella convinzione così ferma, già scossa per molte prove fallite, ha ricevuto l'ultimo colpo dalla relazione calma ed obiettiva dell'illustre senatore Blaserna.

XV. - Intanto i fisici non perdevano d'occhio la questione dei parafulmini a buon mercato. Nel 1823 G. L. Gay-Lussac, raccogliendo una ipotesi di 40 anni avanti, sostenne che gli alberi molto alti e a poca distanza dalle case fossero sufficienti a salvarle. Hericart de Thury, il conte di Tristan, Carlo Donatelli ed altri l'avevano per dimostrato: e il Donatelli dava la preferenza ai pioppi d'Italia, perchè assai alti, piramidali, con rami fitti e volti in su, ricchissimi di foglie, cioè di punte. Per più sicurezza il professore Colladon suggeriva di legare al piede d'ogni albero una verga metallica infissa nel suolo. Ma la difesa sperata dalla azione dei rami e delle foglie — a cui non avevano prestato fede il Toaldo, il Landriani e il Saussure — restò più volte smentita dalle case fulminate in mezzo a grandi alberi d'ogni specie, e dai fulmini che passarono dalle case agli alberi o dagli alberi alle case (ARAGO, SESTIER). Se tale difesa fosse possibile, essa avrebbe raggiunto il valore massimo nell'antica Roma, che non

solo era circondata da estese foreste, ma aveva ancora intorno e dentro alla cinta più di quaranta boschetti, tra i quali uno di pioppi.

Quasi per fare un contrapposto, il Gossier tornò al parafulmine doppio del Bertholon, peggiorandolo assai: perchè nel 1824 soppresse la comunicazione col suolo, e suppose che quelle due punte dirette in alto e in basso bastassero da sole a disperdere la carica elettrica delle nubi e del terreno. Chiaro esempio di ragionamenti astratti nelle cose naturali.

XVI. — Ma dopo queste curiose divagazioni comparve finalmente nel 1827 un progetto pieno di vera prudenza scientifica. Il Marqué-Victor dell'accademia di Tolone immaginò di adattare intorno alle case una specie di gabbia, fatta di lunghe bacchette di ferro, saldate pei capi e sostenute da prismi incatramati di legno resinoso. Esse dovrebbero allinearsi lungo tutte le sporgenze della casa (costolature del tetto, grondaie, cantoni ecc.), e pei grandi edifici anche in mezzo alla faccia delle pareti esterne, discendendo poi sotterra a sufficiente profondità. E le bacchette del tetto dovrebbero congiungersi alle aste verticali appuntite, distanti circa 20 metri l'una dall'altra. Si trattava insomma di combinare insieme la cuspide frankliniana colla fasciatura metallica dell'Hauch e del Morgan, come ha fatto l'ingegnere Melsens 60 anni più tardi.

Nel 1837 l'Arago giudicava opportuna l'aggiunta di aste oblique, affin di ricevere anche i fulmini orizzontàli, intorno ai quali aveva raccolto alcune osservazioni degnissime di fede.

XVII. — Tuttavia non cessarono del tutto i tentativi stravaganti per sopprimere la causa stessa del fulmine e della grandine. Verso il 1834 un parroco della campagna cesenate, ispiratosi ad una idea sfuggita dalla fervida fantasia di Alessandro Volta, persuase i suoi parrocchiani ad accendere cataste di legna e di paglia al momento del pericolo. Nel 1844 il signor De Rochemont sperava di scompaginare le nubi temporalesche assalendole con razzi esplodenti, come poco fa si è di nuovo sperimentato in Francia per impedire la formazione della grandine. Tutti mezzi sproporzionati, e poco meno ingenui delle assordanti scampanate.

Nel 1850 il Dupuis-Delcourt, fondatore della società aeronautica francese, si diè a credere di aver finalmente trovato la maniera più efficace a spogliare le nubi della loro eccessiva elettricità. Egli adunque dopo avere studiato il vecchio problema degli aerostati scarica-

tori, ripresentato dall'Arago nel 1837, propose recipienti cilindrici di metallo sottile o di cartone o di stoffa impermeabile, terminati in forma di cono, armati di molte punte, ripieni d'idrogeno, e legati a lunghissimo cordoncino intessuto con fili metallici, cosicchè potessero salire anche a 1000 e a 1500 metri. Ma il suo progetto non fu mai posto in esecuzione, sia perchè troppo dispendioso, sia ancora perchè le difficoltà tecniche sarebbero state molte e gravissime. Inoltre l'Arago stesso verso il fine della sua vita dubitava assai del risultato, siccome appare dalle modificazioni ch'egli fece alla sua classica monografia *Sur le Tonnerre.*

XVIII. — Da quel tempo in poi i fisici non hanno più pensato a distruggere la sorgente del fulmine, e si sono contentati di provvedere alla sola difesa. Nel 1853 la commissione incaricata dalla *Académie de Sciences* pubblicò una nuova istruzione sul modo di costruire i parafulmini, alla quale il Professore Pouillet fece una notevole aggiunta. In essa si preferiva una punta non troppo affilata per evitarne la deformazione e la fusione, e si raccomandava sopratutto la continuità perfetta del conduttore e la sua ampia espansione nell'acqua libera, ovvero nello strato costantemente umido del suolo. Il Lampadio, l'ingegnere Porro del Genio piemontese e l'inglese Snow Harris (che aveva tanto migliorato i parafulmini delle navi) adottarono conduttori tubulari di piombo o di ferro o di rame, per offrire una più grande superficie alla scarica, e sembra con buona riuscita; ma l'Accademia non gli approvò.

Nel 1864 l'ingegnere Perrot, dopo vari esperimenti con una macchina èlettrostatica, concluse che per impedire la fulminazione non basta una sola punta, ma è necessario un fascio di 10 o 12 aste affilatissime, lunghe parecchi metri e divergenti in tutti i sensi; e che è molto pericoloso il collegamento di grandi masse metalliche col conduttore, perchè ne deriverebbero scariche laterali. La prima conclusione non era altro che un modo esagerato di applicare le punte multiple già in uso: la seconda discendeva dalla sua maniera di sperimentare. Egli caricava un disco orizzontale di metallo e vi poneva sotto una punta, che faceva da parafulmine ed era a contatto di una piccola massa metallica. Avvicinava poi la mano a questa massa, e allo scoccare del supposto fulmine minuscolo riceveva una scintilla e una scossetta: avvicinava cioè un'altra massa conduttrice più grande e in co-

municazione col suolo; e la scarica si biforcava, producendo una scintilla nell'unico punto d'interruzione.

Del resto molti fisici e meccanici ebbero ciascuno un sistema prediletto, determinato dalla esperienza e talora anche da vedute teoretiche. Il p. F. Cecchi adoperava punte multiple di rame sormontate da un sottile ago di platino, e un ottimo spandente a pettine somigliante a quello del p. Fonda. — Al p. A. Secchi poco importava delle punte, rispetto al metallo e alla forma; per lui la bontà di un parafulmine sta principalmente nella robustezza del conduttore e nella capacità dello spandente preparato alla pronta dispersione. Riprovava le corde di ferro e di rame, perchè colle scariche si ossidano e divengono fragili. — L'ingegnere Dell'Acqua e il Kerber introdussero punte di argento poco aguzze: e il Dell'Acqua metteva per conduttore una corda fatta con tre grossi fili di rame, la quale si trasformava in un grande scaricatore a ciambella con 25 lunghe punte dello stesso metallo infisse nel terreno umido o in uno strato di carbone bagnato. I primi 23 parafulmini di Velletri furono costruiti a questo modo dal Tecnomasio di Milano nel 1876, ed hanno finora dato continua prova di eccellente servizio. Ma le punte dello scaricatore incominciano a consumarsi, e sarebbe ben fatto sostituirvi uno spandente più duraturo. — Il Genio militare adopera lo scaricatore *a corbello*, cioè una grossa verga di ferro zincato con varie diramazioni appuntite volte in alto e in basso, e lo colloca in una cesta piena di carbone.

XIX. — Ma nell'ultimo quarto del secolo scorso riapparve messo a nuovo il progetto del Reimar e dell'Hauch. Il professore G. Clerk Maxwell, riferendosi ai celebri esperimenti del Faraday — coi quali fu dimostrato che dentro un conduttore cavo la risultante delle forze elettriche è nulla o al più debolissima — escluse non solo le punte d'ogni sorta, ma ancora la comunicazione col suolo, quando sotto l'edificio non penetrano da qualche distanza tubi metallici ed altri corpi conduttori. Egli ridusse tutto il sistema protettore ad una rete fatta con fili di rame a larghe maglie, e le consigliò più serrate e comunicanti col terreno solo pei depositi di materie esplosive.

Pochi anni dopo i conduttori aguzzi riacquistarono l'antica importanza. Il professore Oliviero Lodge congiunse alle armature di un condensatore due lastre metalliche: una rappresentava la massa positiva delle nubi, l'altra la superficie negativa del suolo con eminenze di varia forma. Per tale disposizione il potenziale delle lastre cresce

lentamente come quello delle armature, e la scarica preferisce i corpi meno rotondeggianti e più acuti. Se invece si allontana di poco la lastra inferiore dalla armatura negativa, allo scoccare della scintilla nella interruzione, il potenziale acquista istantaneamente un grande valore, e nello stesso tempo avviene la scarica fra le due lastre. Ma una punta, o meglio un pennello di punte, scarica le due lastre per dispersione e senza fragore. Con altri esperimenti il Lodge trovò che la diversa facoltà conduttrice dei corpi non altera notevolmente la prontezza della scarica istantanea, e credette ancora di aver imitato la sfuggita laterale del fulmine dal conduttore.

Tenendo conto di questi effetti e delle vedute del Maxwell, l'ingegnere belga signor Melsens combinò un sistema di protezione poco diverso da quello del Marqué-Victor. Fili di ferro verticali sugli angoli e sulla faccia dei muri, collegati a fili orizzontali lungo le grondaie e le costolature del tetto: molti ciuffi di aghi divergenti su tutti i fili superiori, e buona comunicazione col sottosuolo da più punti di tutto il sistema. Se ne fece la prima applicazione all'Hôtel-de-Ville di Bruxelles: e nondimeno in capo a tre anni, la sera del 26 giugno 1888, il fulmine vi produsse un incendio.

Molto somigliante a questo è il sistema adottato dal professore Nazareno Borghini di Arezzo, e costruito di solo acciaio dolce. I ciuffi si compongono di circa 50 aghi lunghi e acutissimi, sorretti da breve asta, e gli spandenti sono lastre verticali gremite di 350 punte. Il Borghini ha già eseguito oltre a 18000 impianti e reca numerose testimonianze di perfetta riuscita, da nessuno finora contradette.

XX. — Che io sappia, dentro l'ultimo ventennio non vennero fuori altre novità degne di memoria. Orbene, se consideriamo tutte le specie di parafulmini, sperimentate o semplicemente proposte, dal Franklin al Melsens, vediamo che esse ebbero sempre per base la teoria delle due cariche opposte nelle nubi e nel suolo. Quando i due potenziali crescono eccessivamente, tanto da vincere la resistenza dello spazio interposto, avverrebbe la scarica fragorosa istantanea, vale a dire una lunghissima scintilla fulminante: e se dal terreno, che ordinariamente è al potenziale negativo, sporgono corpi conduttori, essi più di qualsivoglia altro sono disposti a ricevere la scarica e a disperderla sotterra.

Ma su due punti le opinioni non sono mai andate d'accordo. Fin da principio si tentò di determinare praticamente l'ampiezza

dello spazio circolare protetto da un parafulmine: più tardi si ricorse al calcolo. Il p. Beccaria assegnò un raggio di 200 piedi (circa 65 metri); il Landriani lo ridusse a meno della metà; l'accademico Leroy a tre volte la lunghezza dell'asta; lo Charles soltanto al doppio di quella lunghezza, e tale l'ammisero anche il Gay-Lussac, l'Arago, il Pouillet, il Becquerel ed altri; il Lucas e il Michel lo calcolarono un poco minore; il Sestier lo giudicò eguale all'altezza della punta dal suolo. Forse la questione non sarà mai risoluta, perchè l'azione di un parafulmime deve certamente dipendere dall'altitudine del luogo, dalla distanza e dalla violenza fulminante della nube, dalla elevazione e dalla forma dell'edificio, dal numero e dalla materia e dalla massa e dalla forma e dalla posizione degli accessorii, come pure dalla vicinanza maggiore o minore di altri parafulmini.

L'altra questione si riferisce all'azione preventiva, cioè se una buona quantità di parafulmini possa annientare, o almeno affievolire la carica fulminante di un temporale. L'affermarono molti: Franklin, Watson, Ingenhoux, Mahon, Magellan, Chappe, Barbier de Tinan, Toaldo, Poli, Harris, Gay-Lussac, Arago, Pouillet, Becquerel, Minard, Matteucci, Daguin, Gordon ecc. Lo negarono il Beccaria, il De Luc, il Volta, il Kaemtz, il Brandes, il Saigey, e recentemente il p. Schaffers. Queste opinioni opposte derivarono senza dubbio dalla serie insufficiente dei fatti, o dalla diversa interpretazione dei principii teoretici. Dalle mie osservazioni di 33 anni potrei concludere che si dànno tutti e due i casi, e perciò nessuna di quelle opinioni dovrebbe tenersi come assolutamente vera. In due giorni di seguito, 16 e 17 settembre 1879, io osservai che i lampi e i tuoni cessavano totalmente al passaggio del temporale sui parafulmini di Velletri, e che poi riprendevano come prima. Il fatto avvenne ancora qualche altra volta, ed è molto raro.

XXI. — Ma contro l'impiego dei parafulmini acuminati, anche rispetto alla sola difesa, insorge di nuovo la critica severa di alcuni fisici. Tutto ciò che può opporsi fu compendiato dal p. V. Schaffers di Lovanio, il quale ne trattò di proposito alla Società Scientifica di Bruxelles nell'adunanza del 25 ottobre 1906. Ecco le sue conclusioni:

1°. I lampi non possono cessare o scemare quando il temporale passa sopra un sistema di parafulmini aguzzi, perchè allora la carica delle nubi è immensa rispetto alla pochissima elettricità che può sfuggire dalle punte più affilate, cioè almento un milione di volte

più intensa [1]; e perchè, se le punte sottraessero veramente l'elettricità dalle nubi, i temporali dovrebbero durare appena qualche minuto, tante sono le punte dei rami e delle foglie nelle regioni boscose, nei terreni coltivati e nei prati. Quindi i parafulmini aguzzi sono per lo meno inutili.

2°. Le punte provocano la scarica fulminante. Se i parafulmini fossero costruiti a perfezione, ben rilegati tra loro e colle masse metalliche esterne, meno male: ma la più parte di essi non meritano fiducia. Dunque, per uscire da ogni incertezza, è meglio abolirli tutti, buoni e cattivi.

3°. L'unico sistema ragionevole sarebbe quello del Melsens, ma senza punte o appena con qualche spranghetta breve e smussata, e con numerose comunicazioni sotterranee.

4°. Non si dovrebbe rinunciare alla difesa degli alberi, purchè non troppo vicini. Se sono più alti della casa, verranno più facilmente colpiti invece di essa: se sono più bassi, colla moltitudine di ioni che salgono dal margine e dalle punte delle foglie, determineranno egualmente il fulmine a preferirli.

XXII. — Questo modo di vedere mi sembra non solo esagerato, ma ancora troppo teorico, troppo fondato sopra sperimenti di gabinetto, troppo povero di osservazioni dirette.

E primieramente, si è mai dimostrato che le nubi temporalesche abbiano una carica così enorme? — L'Arago si propose la questione sotto un'altra forma equivalente: « Les nuages d'où les éclairs et la foudre s'échappent incessamment, sont-ils constitués, comme quelques physiciens le supposent, de telle sorte qu'il y ait danger de mort à les traverser? » E soggiunse: « Sur ce point, l'opinion générale me paraît bien plutôt une affaire de sentiment que le résultat d'une discussion approfondie » [2]. Riferiva poi le osservazioni seguenti.

Sulla fine dell'agosto 1750 l'ab. Richard saliva il piccolo monte di Boyer in carrozza, e poco lontano dalla cima incontrò un temporale che dava fulmini ad intervalli. Quando vi penetrò i fulmini erano continui, ma nè egli nè altri sentirono alcun fastidio. Giunto alla som-

---

(1) Il Nollet, il Wilson e il De Luc avevano già detto la stessa cosa un secolo e mezzo fa, e il Taggart nel 1829 la ripetè con accento assai sdegnoso.

(2) « *Oeuvres de* François Arago. Notices scientifiques. Tome Premier. Paris-Leipzig 1854. *Le Tonnerre* ». Pag. 299.

mità e sopra la nube, vedeva ancora lampi vivissimi e udiva fortissimi tuoni. — La sorella dello stesso Arago viaggiava con due amiche da Estagel a Limoux, e sotto al colle Saint-Louis furono investite da un temporale. Lampi e tuoni terribili. Volevano retrocedere, ma il vetturino si oppose. Chiusero gli occhi, tapparono gli orecchi. Dopo un quarto d'ora seppero dal vetturino che ogni pericolo era passato: ma in basso lampeggiava e tuonava. — I capitani Peytier e Hossard quattro volte nel 1816, una volta nel 1825, cinque volte nel 1826, tre volte ne 1827, si trovarono dentro al temporale sui Pirenei. I capelli si drizzavano, da tutte le sporgenze del corpo sfuggiva un soffio: fulmini frequenti e grossa grandine. Nel temporale del 9 agosto 1826 la tenda pareva infiammata: un fucile, lasciato fuori per prudenza, mostrò segni di fusione. Nessuno sperava più di rivedere vivi gli ufficiali e le loro guide. Il 31 agosto 1826 restò fulminata una pernice bianca, legata ad una biffa che n'ebbe carbonizzata la punta. Non vi fu alcuno che ne soffrisse, con grande meraviglia dei montanari che li credevano tutti perduti.

Il Sestier raccolse altri fatti. — Nel pomeriggio del 2 o 3 settembre 1716 un viaggiatore ed una guida scendevano dal Cantal verso Vic, ed entrarono fra le nubi di un temporale, tanto fitte da non lasciar vedere la briglia dei cavalli. Intorno a loro volteggiavano molti globi fulminanti, uno dei quali, che aveva due piedi di diametro, esplose fragorosamente a poca distanza lanciando fiamme. Nessun danno alle persone [1]. — Nel 1840 il professore Schafhaueutl fu assalito da un violento temporale sul Brenner. L'igroscopio e l'elettroscopio non subirono alcuna variazione, anche a qualche metro soltanto dalla massa nuvolosa: ma indicarono un salto quando vi penetrò [2].

Altri casi ancora. — L'ab. Lazzaro Spallanzani fu avvicinato assai, e talora avvolto da grandi temporali, quando faceva i suoi studi sull'Appennino modenese, sempre senza danno. Il medesimo accadde al Saussure sulle Alpi, al Kaemtz sul Righi, al Balmet sul Monte Bianco, ad Osvaldo Heer nella valle di Sernft (Kaemtz). — Nel 1832 l'ingegnere Buchwalder fu colto sul Sentis da un temporale spaven-

[1] Il racconto è del gesuita p. Lozeran de Fesc, professore nella università di Perpignano, e fu trascritto per intero da Gastone Planté nell'opera *Phénomènes électriques de l'Atmosphère* (Paris 1888, pag. 206-10).

[2] *Annales de Physique et de Chimie*, 1841. 3e série, t. II, p. 44.

toso, e il suo assistente restò fulminato dentro la tenda, ma allora erano nel centro della tempesta (PLANTÉ). — Vennero pure involti da temporali: nel 1835 H. Lecoq sul Puy-de-Dôme (FAYE); nel 1845 una compagnia di olandesi sul vulcano Soelassie di Sumatra (ZURCHER e MARGOLLÉ); nel 1850 il colonnello russo Khodzko e la sua gente sull'Ararat (ID. ID.); nel 1863 Ernesto Charton sulle Ande dell'Equatore (VIAGGIO); nel 1865 F. G. Smith e tre suoi compagni sul Piz Languard dell'Engadina (SCOTT); nel 1869 Teofilo Deyrolle sull'altipiano dell'Armenia (VIAGGIO); nel 1874 il luogotenente Verney Lovett Cameron al centro dell'Africa (VIAGGIO); ai 30 del luglio 1887 Giuseppe Vallot sul Monte Bianco (LA NATURE); e la notte del 31 ottobre 1888 in mezzo all'Atlantico il vascello *Edouard*, che solamente dentro al temporale fu invaso da lampi, e così vivaci, che undici marinai ne rimasero acciecati per più di mezza giornata (IBID.).

So bene che questi fatti si vollero spiegare dicendo che nel seno del temporale tutti i corpi salgono allo stesso potenziale, e perciò la scarica non è possibile. Ma tale condizione mancherebbe prima che quei corpi sieno compresi nella nube. E poi, come avviene che neppure un elettroscopio dia segni di carica indotta a qualche metro di distanza? E perchè i fulmini, spesso strapotenti e frequentissimi, si producono nell'interno della massa nuvolosa, anche quando essa non tocca il terreno, siccome fu osservato dal Letestu nel 1786? Egli vagò lungamente col suo aerostato dentro un temporale: il frastuono era assordante, la navicella ricevette neve e grandine, le dorature della bandiera scintillavano (DAGUIN). L'anno precedente, ai 26 d'agosto, anche il Blanchard e il cavaliere d'Espinard, che discendevano dall'altezza di quasi 4300 metri, avevano attraversato in pallone, e senza offesa, un temporale con lampi e tuoni (TISSANDIER). La notte dal 17 al 18 giugno del 1900 gli aeronauti Balsan e Godard in sei ore si trovarono più volte dentro terribili temporali: i capelli e i peli della barba divergevano, ma non ebbero scariche (GENTY). Invece un piccolo pallone frenato, e a soli 60 metri dal suolo, mentre pioveva dirottamente fu colpito dal fulmine presso Aldershot nel 1894 (LA NATURE). E l'anno scorso, ai 2 di giugno, fu egualmente colpito a 300 metri di altezza il pallone guidato dal compianto capitano Arnaldo Ulivelli. I suoi colleghi, che lo vedevano andare incontro al temporale, non se ne dettero pensiero, sapendo per esperienza che i palloni vi passano dentro senza danno.

Non è diverso il caso dei turbini lampeggianti. D'ordinario le fulminazioni, che non sempre accadono, si hanno dopo che la massa vorticosa ha invaso l'area fabbricata. I turbini grandinosi, pieni di lampi abbaglianti, che infuriarono contro Velletri il 26 agosto del 1842 e il 25 maggio del 1846, non diedero fulmini. L'uragano, che smantellò quasi tutte le case nella notte del 30 al 31 agosto del 1880, attaccò soltanto alcuni parafulmini e ne fuse qualche punta. L'ultimo turbine grandinoso del 19 novembre 1906, con due o tre lampi vivacissimi al minuto secondo, neppure un parafulmine percosse.

Tante e così svariate osservazioni non sono dunque favorevoli all'ipotesi di un potenziale enormemente alto nella superficie della nube temporalesca. I fiocchi luminosi, che appaiono talvolta sulla punta dei parafulmini e di altri corpi, e le scintille più o meno lunghe tratte dai conduttori isolati, o scoccate fra le loro interruzioni, non si osservano soltanto sotto i temporali, ma anche quando le nubi non lampeggiano e perfino a cielo sereno: e quindi non siamo sicuri che quei fenomeni provengano dalla induzione. Inoltre l'elettricità dei temporali è spesso variabilissima, non solamente nella forza, ma ancora nella qualità, cosicchè ha dato occasione all'ipotesi di zone concentriche, alternativamente positive e negative, presentata dal Crosse e sostenuta poi dal Baggs, dal Noath, dal Quetelet e dal Palmieri. La più seria e spassionata conclusione è ancora quella che il Kaemtz nel 1839 dedusse dalle sue e dalle altrui osservazioni: « Raccogliendo tutto ciò che gli osservatori diversi han detto sulla elettricità dei temporali, riconoscesi ben presto che questo fenomeno è il più complicato di tutta la Meteorologia, ed io dubito che perverremo a spiegarne l'andamento in ogni caso particolare » (1).

XXIII. — In secondo luogo, se anche molti parafulmini fossero difettosi o imperitamente collocati, non ne seguirebbe che debba proclamarsene l'abolizione universale. Si dovrebbero piuttosto obbligare i costruttori a dar prova della loro abilità tecnica e a conseguire così un autentico permesso di esercizio. E rispetto ai parafulmini già in opera, se ne dovrebbe ordinare una ispezione minuta, ed obbligare i padroni degli edifici alle necessarie riparazioni e modificazioni.

Ma è poi vero che la maggior parte dei parafulmini frankliniani

(1) *Prelezioni di Meteorologia* per LUIGI FEDERIGO KÄMTZ. Torino 1853. Vol. secondo, pag. 270.

sieno ora in così cattiva condizione da far nascere un gran timore d'imminente pericolo? — La risposta categorica dovrebbe venire o da una statistica sicura di parafulmini malfatti, o da una statistica di disastri provocati da parafulmini aguzzi, riferite al numero totale. Forse il p. Schaffers possiede questi elementi che non ha creduto di recare, perchè voleva giungere alla conclusione generale solo cogli studi di gabinetto. Egli ha tenuto così lo stesso metodo del Lodge, disapprovato dalla Commissione britannica e più specialmente dai professori Preece, Adams, Fitzgerald e, almeno in parte, anche dal tanto autorevole sir William Thomson.

Io conosco due statistiche, mancanti del rapporto al numero totale, e apparentemente contradittorie. Nel 1858 il professor Duprez radunò le notizie di 168 parafulmini francesi colpiti una o più volte. Soli 27 fallirono, vale a dire il 16 per cento: ma « ces 27 cas sont presque tous dus à des défauts reconnus dans la construction des appareils » (Sestier). — Nel 1906 alcuni ingegneri degli Stati Uniti di America affermarono che su 542 casi di danni più o meno notevoli in edifici muniti di parafulmine, 412, cioè il 76 per cento, avvennero là dove gli apparecchi erano da qualche anno trascurati (Savorgnan di Brazzà). — Dal 16 al 76 per cento la sproporzione è enorme: ma credo che sarebbe assai ridotta, e forse sparirebbe, se il numero dei casi fosse stato riferito al totale dei parafulmini, che negli Stati Uniti sono molto più fitti e in un territorio popolato almeno quindici volte più vasto.

Non so quello che debba giudicarsi di certe regioni europee: ma in Italia le colpe dei parafulmini sono certamente rarissime; e i gazzettieri, che vanno in cerca di disgrazie anche minime, non ne parlano quasi mai. Il Lazio, per esempio, è battuto spesso da violenti temporali in tutte le stagioni, come in antico. Gli storici, da Tito Livio ad Anastasio Bibliotecario, registrarono molte e disastrose fulminazioni a Roma e nelle vicinanze: i cronisti medioevali ne notarono molte altre, e Stefano Infessura ne descrisse parecchie dal 1476 al 1493. Nei secoli seguenti il fulmine continuò ad offendere chiese, campanili, monumenti e palazzi: e intorno alla metà del secolo XVIII la sola chiesa della Sapienza fu danneggiata cinque volte. Nel secolo XIX i temporali a Roma non furono meno frequenti nè meno forti: eppure nessuno ricorda che accadessero rovine per causa dei parafulmini, i quali, specialmente dopo il 1850, si sono di continuo moltiplicati.

A Velletri prima del 1876 le fulminazioni erono così spesse e dannose, che l'autorevolissimo p. Secchi l'additava come un luogo fatto apposta per lo studio del fulmine e de' suoi strani effetti. In otto anni, dal 1868 al 1875, io ne registrai 17 casi Il municipio si dovette risolvere a munire la città di parafulmini, e se ne posero 23 secondo un mio progetto approvato con preziose avvertenze dallo stesso p. Secchi. Se ne aggiunsero poi un'altra quindicina. Ebbene, neppure uno ha mai dato segni di cattivo servizio o di scariche laterali, ad eccezione di un solo caso, fortunatamente senza danni, dovuto alla negligenza d'un operaio che aveva lasciato interrotto il conduttore. Ai 2 di giugno dell'anno scorso nel palazzo Ginnetti e in una farmacia guizzò una grossa scintilla mentre passava il temporale: ma ambedue le scintille uscirono dal circuito della illuminazione elettrica, che riceve la corrente da Vallepietra, lontana circa 60 chilometri. Dal 1876 in poi i casi di fulminazione, sempre su case non armate, sono divenuti sommamente rari: quattro o cinque in tutto.

Il dott. Domenico Seghetti mi scrive, che a Frascati si contano almeno 33 parafulmini in città e circa 110 nelle ville circostanti. Nessuno ricorda disgrazie negli edificii armati. Quattro o cinque anni addietro un fulmine scorrazzò pel palazzo Senni, allora non munito, e dal dito di una signora rapì un anello, che fu poi ritrovato fra i calcinacci di un angolo lesionato. — Il Rev. Fr. Regolo, direttore dell'Istituto dei Fratelli delle Scuole Cristiane in Albano Laziale, mi scrive, che in citta e nei dintorni esistono quasi 100 parafulmini. Un vecchio capomastro assicura di non aver mai visto danni notevoli negli edifici difesi. — L'ingegnere Carlo Bassani mi scrive che a Tivoli oltre al parafulmine eretto sul campanile della Cattedrale alto 50 metri, ne sono provvisti cinque o sei edifici, non mai danneggiati. Circa sei anni or sono egli osservò un magnifico fuoco di sant'Elmo sul parafulmine di quel campanile.

Il professor Carlo Rognoni notò il medesimo fatto a Parma, dove fino al 1892 esistevano 90 parafulmini. « Quanto ai fulmini, egli è certo che nel secolo decimottavo e anche nella prima metà del decimonono, essi cadevano e danneggiavano gli edifici della nostra città assai più spesso che non fanno oggidì... ma da circa mezzo secolo si son fatti più rari, e minimi i danni recati alla nostra città. » Ed aggiunge che dal 1865 al 1890 solo tre volte si ebbe il fulmine, sempre

con danno leggerissimo [1]. E dal dottor Lucio Gabelli di Bologna ho questa importante notizia, comunicatagli dall'ingegnere Alessandro Pifferi Tiraferri: « Nella Torre degli Asinelli si dovette mettere punte lungo gli spigoli, perchè la sola punta sul cupolino non difendeva completamente ». Quella Torre è alta 98 metri.

XXIV. — In terzo luogo, se è vero che il sistema del Melsens offre condizioni molto ragionevoli, è anche vero che non salvò dal fulmine l'Hôtel-de-Ville, sebbene vi fosse applicato colle cure più diligenti: il che vuol dire che nessun sistema può essere assolutamente garantito per qualche caso straordinario. A renderlo perfetto e sicuro il p. Schaffers vorrebbe privarlo delle punte, le quali sono accusate di provocare il fulmine, soprattutto, come diceva il Lodge, quando la nube sale improvvisamente ad altissimo potenziale per la scarica di un'altra nube superiore. Allora le punte non varrebbero più ad annientare la carica enorme di quella nube, e neppure il conduttore e lo spandente avrebbero una capacità tale da inviare tutta la scarica nel suolo: ne sfuggirebbero così grosse e pericolose scintille laterali. Ma la generazione di quel potenziale istantaneo è una semplice ipotesi, fondata sopra l'altra ipotesi della scarica fra due nubi soprapposte. Del resto, concedendo ancora che il fatto possa accadere non si eviterebbe la scarica sull'armatura senza punte o sui corpi vicini, e sarebbe di certo più poderosa, perchè la differenza di potenziale non verrebbe diminuita dall'azione, sia pure debole, di moltis sime punte.

Il Sestier, che studiò un numero sterminato di casi, dice di conoscerne appena uno solo da potersi attribuire ad una punta, ed è questo. Nel 1830 il celebre fisico Macedonio Melloni piantò un parafulmine sopra la sua casa di campagna presso Vellera, villaggio poco lontano da Parma: e nell'estate dell'anno seguente un fulmine ne fuse la punta di rame massiccio, quantunque nessuno a Vellera ricordasse che le case e gli alti alberi circostanti avessero mai patito fulminazioni, siccome l'Arago assicurò, notando tuttavia che il parafulmine anche così guasto aveva regolarmente adempiuto il suo ufficio di salvare la casa.

Le deviazioni laterali del fulmine avvengono per lo più quando qualche massa metallica non è in buona comunicazione col conduttore,

[1] *Note meteorologiche per la climatologia parmense.* Parma 1892. Pag. 45 e 48.

come fu osservato a Parigi nel 1862. Da uno dei parafulmini posti sulla caserma del Principe Eugenio il fulmine passò al tubo del gas e andò ad esplodere dentro il corpo di guardia. Ma nella stessa Parigi la sera del 7 luglio 1896 un temporale in un solo quarto d'ora avventò cinque fulmini fragorosissimi sulla Torre di san Giacomo, dove il parafulmine è in eccellente comunicazione con quattro cuspidi fissate agli angoli: e non si ebbe alcuna scarica laterale. Che anzi gli assistenti dell'osservatorio, protetti soltanto da quattro catene che pendono a padiglione dall'asta della bandiera sopra il terrazzo « ont pu, en toute liberté d'esprit et sans éprouver aucun effet physique sensible, enregistrer minutieusement tous les détails, toutes les phases de l'orage qui se déchaînait autour d'eux » ([1]). — Non meno eloquente è una statistica testè eseguita in Olanda, e così riferita nel periodico La Nature: « On a souvent mis en doute l'efficacité des paratonnerres. Un Hollandais, M. Yan Gulik, a fait la statistique des chutes de foudre survenues en Hollande de 1882 à 1906: on peut en conclure que les paratonnerres assurent réellement la protection des édifices. La statistique a été faite en relevant les indemnités payées par les compagnies d'assurances; elle se résume en ceci: sur les maisons non protégées la foudre allume 1 fois sur 2 l'incendie, sur les maisons protégées au contraire 1 fois sur 13 seulement ».

Le grandi navi da lungo corso, piene di materiale metallico, sarebbero spesso colpite se le punte dei loro parafulmini fossero veramente pericolose. Orbene è noto che, da quando la marina inglese adottò il sistema del professore Harris, cioè fin dal 1830, i danni sono cessati in tutte le navi protette Nel 1891 il capitano Dinklage intraprese uno studio analitico per la marina alemanna, e trovò che vengono spesso colpite e danneggiate le sole navi di legno che non hanno parafulmini con catene conduttrici immerse nel mare.

A me sembra che i fatti valgano assai meglio di qualsivoglia ingegnosa ipotesi. L'ossevazione continua di tali fatti, dal tempo del Franklin fino ai nostri giorni, non ha mai scosso la persuasione dei più eminenti fisici e meteorologisti: e al principio del 1901 il Comitato inglese per lo studio dei fulmini, oltre a molte prudentissime pro-

---

([1]) Nota dei signori C. Mildé ed E. Grenet inserita nei C. R.: Tomo CXXIII, pag. 644.

poste, raccomandava ancora l'uso delle punte, desiderandole assai numerose sulle parti più elevate degli edifici.

XXV. — Resta in fine a considerare l'altra ipotesi degli alberi protettori. Anche questa opinione è molto vecchia, e rimonta all'origine stessa dei parafulmini: ma sembra che allora fosse suggerita da qualche caso, che richiamò alla memoria le asserzioni di Plinio, di Columella, di Teofrasto e di altri antichi scrittori, secondo i quali il lauro, il fico e la vite di uva bianca sarebbero immuni, ed invece la querce verrebbe spesso fulminata. L'ab. Toaldo ritenne molto debole la difesa degli alberi: il De Saussure e il Landriani la negarono del tutto. In seguito furono fatte molte osservazioni e varie statistiche più o meno contradittorie. Alcuni naturalisti assicurarono che, non solo i lauri e i fichi, ma ancora i faggi, le betulle, gli aceri, i gelsi, gli olivi e gli alberi resinosi sono sempre incolumi: ma poi si trovarono anch'essi colpiti. Pare tuttavia che la querce sia più esposta alle fulminazioni e molto meno il faggio, stando alla statistica del Sestier per la Francia, a quella di Demetrio Jonesco pel Principato di Lippe, e alle altre recentissime compilate l'anno scorso in Inghilterra, in Germania e nel Belgio.

Supposto adunque che questi risultati sieno abbastanza esatti — sebbene non manchino grandi esempi in contrario — a quale specie di alberi dovremmo ricorrere? Alla querce che meglio chiama i fulmini, o al faggio che meno lo invita? Non credo che la scelta si farebbe senza perplessità, perchè non sappiamo quello che accadrebbe delle case così circondate. Ma, se pure la scelta fosse possibile, quante case avrebbero intorno lo spazio necessario, e quanti anni occorrerebbero perchè il sistema fosse in ordine? E poichè gli alberi sono spesso squarciati, stroncati, scortecciati, sfibrati e vuotati dal fulmine e nessun albero è veramente immune, come si resterebbe dopo una o più fulminazioni? Torna quindi meglio affidarsi a buoni parafulmini, che si montano in un paio di giorni, e, se avvengono guasti, si riparano ovunque da un meccanico bene istruito o ben diretto.

Nel 1885 il professore Van Bezold cavò una statistica diligentissima da documenti senza eccezione perfettamente autentici, dalla quale risultò che in Baviera dal 1833 al 1882, cioè in un intero cinquantennio, il numero delle case danneggiate in campagna fu doppio rispetto a quelle di città. La sproporzione è assai grande: ma aumenta molto più quando si avverta che le case di campagna sono

dovunque assai meno numerose che quelle di città. Ora se le piante dessero così abbondanti effluvii di ioni da eccitare e dirigere su sè stesse la caduta del fulmine, la sproporzione dovrebbe essere a rovescio.

XXVI. — Tutti i ragionamenti che sogliono farsi intorno ai parafulmini dipendono dalla persuasione che il fulmine non sia altro che una semplice scintilla elettrica, e perciò se ne istituisce il paragone coi fenomeni studiati nelle macchine e nei condensatori. Ma questa teoria è veramente sicura? — F. Arago rifiutò la definizione data dall'*Académie des Sciences:* « FOUDRE. Le feu du ciel, la matière électrique lorsqu'elle s'échappe de la nue en produisant une vive lumière et une violente détonation »; perchè gli parve troppo ipotetica e poco rispondente ai caratteri speciali, e ve ne sostituì un'altra, cioè: « La foudre est un phénomène ou un météore, qui se manifeste quand le ciel est couvert de certains nuages, d'abord *par un jet subit de lumière* et quelque temps après, *par un bruit plus ou moins prolongé* ». E soggiunse: « Cette définition échapperait à la plupart des critiques précèdentes, puisqu'elle ne renferme rien d'hypothétique, rien d'imprunté aux expériences modernes des physiciens, rien qui ne soit le résultat d'une observation immmédiate » ([1]).

Dopo settanta anni non possiamo dire di più con vera certezza. Ma credo opportuno raccogliere le osservazioni, dalle quali nasce il dubbio sulla origine esclusivamente elettrica del fenomeno, e discutere gli argomenti che fin dal 1884 ho avuto più volte l'occasione di accennare.

XXVII. — Ho già riferito di sopra molti casi evidetissimi di persone assalite da violenti temporali — in terra, in mare e in aria — senza che all'entrarvi ricevessero una sola scintilla, anche quando il nembo lampeggiava continuamente (cap. XXII), cosicchè non potrebbe ammettersi un potenziale molto elevato alla superficie. Eppure i lampi solcano spazi lunghissimi. Il D'Abbadie in Abissinia con metodo trigonometrico misurò lampi di 6 o 7 chilometri; il Weissenborn collo stesso metodo alcuni di 8 chilometri; il Colladon li stimò talora di 10

([1]) Op. cit. pag. 5-6. — Il Musschenbroek aveva dato una definizione descrittiva piena di verità: « *Fulmen* vocatur Flamma fulgentissima, subito orta, magno impetu et praerapida celeritate lata, per Aërem ad quamlibet determinationem, ex Terra sursum, horizontaliter, oblique, deorsum, in linea recta, vel in pluribus rectis, serpentinis quasi ductibus, ad varios angulos iunctis, saepissime cum ingenti fragore desinens » (*Elementa Physicae conscripta in usus academicos*, T. II, pargr. 1339). Vi manca soltanto un accenno ai colori, e ai fulmini globulari ben conosciuti da quel celebre fisico.

o 12 chilometri; l'Arago dedusse 12 o 13 chilometri da certe osservazioni del De L'Isle; il Petit ne vide di 17 chilometri a Tolone, e il Lecoq nel 1836 ne osservò uno che vinse la distanza dal Puy-de-Dôme al Monte Dore, circa trenta chilometri. I lampi di 4 o 5 chilometri sono molto comuni. Naturalmente queste misure si riferiscono per lo più ai lampi obliqui, e le più estese a quelli orizzontali; i lampi verticali sono sempre più corti, e sorpassano di rado un chilometro o due.

Ma anche ridotti a soli 1000 metri, potrebbero mai ritenersi come semplici scariche e null'altro? Se così fosse, la differenza di potenziale tra le nubi e la terra dovrebbe essere assai più grande di quella calcolata dal p Schaffers, e allora prima della scarica tutti i corpi leggeri e mobili sarebbero attratti verso la nube: per lo meno le foglie degli alberi e delle erbe si drizzerebbero; le foglie già cadute e secche, le festuche, i pezzi di carta, la polvere delle strade e del terreno nudo salirebbero in alto o ballerebbero. Nulla di tutto ciò avviene mai: solo qualche volta le chiome e le barbe divaricarono, quando le persone erano dentro al temporale o vicinissime, come accadde il 15 giugno del 1825 ai capitani Peytier e Hossard sui Pirenei, e il 27 dello stesso mese al Macvivar e a'suoi compagni sul monte Ben-Nevis della Scozia.

Si consideri inoltre che spesso la pioggia è così fitta da sembrare un muraglione a chi la guarda di fianco, e da inondare le città e le campagne: e intanto i lampi verticali e i tuoni s'incalzano senza posa. Io ho contato quasi ogni anno, specialmente in autunno, da 60 a 90 lampi verticali per minuto: e ricordo che circa 50 anni addietro un temporale poco lontano e piovosissimo dava lampi verticali, larghi come grandi colonne, tanto continui e luminosi, che per più di un quarto d'ora potei leggere con sola quella luce presso una finestra, sebbene fosse già notte fatta. Orbene, come può conservarsi una enorme differenza di potenziale tra le nubi e il terreno, quando il campo elettrico è così pieno di acqua e così saturo di vapore? E le innumerevoli goccie di pioggia non dovrebbero anch'esse sottrarre una grandissima parte della elettricità condensata nella nube? Si potrebbe rispondere che nella massa temporalesca o nell'aria soprastante deve agire una qualche causa che rinnuovi continuamente la carica: ma questa ipotesi non distrugge la difficoltà del mezzo conduttore, perchè la carica stessa dovrebbe disperdersi pure continua-

mente nel suolo da tutti i punti del nembo piovoso, e non a scatti da punti separati e in forma di strette scintille fragorose.

XXVIII. — La figura e la direzione dei lampi dànno molto a pensare. Non è raro il caso di vedere larghe falde luminose, a lati nettissimi, e quindi assai diverse dai lampi diffusi, a contorni evanescenti ed indefiniti, che si spiegano facilmente colla grande eterogeneità ed agitazione del mezzo aereo. Altre volte i lampi sottili come nastri si dividono in più rami, che vanno a colpire contemporaneamente luoghi lontani anche centinaia di metri. Ai 20 del maggio 1896 lo Zenger a Praga ne fotografò uno diviso in sei rami; il Colladon nel 1838 ad Avignone e nel 1846 a Genova ne osservò alcuni divisi in otto o dieci rami; il Loomis riprodusse la figura di un lampo orizzontale serpeggiante, scoccato fra due nembi, il quale ad una estremità era diviso in otto rami e all'altra in undici; e una sera del 1850 il Clare ne vide parecchi ramificati più volte come le radici d'un albero, e i rami terminavano in un globo luminoso. Ancora più singolare è la forma osservata dell'ingegnere Carlo Bassani a Udine verso la mezzanotte 21-22 giugno del 1874: egli vide cinque lampi ondulati divergere nello stesso momento da un solo punto a modo di raggera [1].

Questi lampi a nastro possono seguire una linea parallela alla superficie terrestre dentro o sotto un solo temporale. L'Arago ne cita quattro casi: nel 1764 a Londra, nel 1780 a East-Bourn, nel 1783 a Losanna, e nel 1829 ad Essex. Io stesso nell'estate del 1882 ne vidi uno rettilineo, lungo almeno quattro chilometri, il quale sfiorava il limite inferiore della massa nuvolosa, compatta, oscura, senza sporgenze lungo tutta la base. Del resto le lunghezze superiori a 4 o 5 chilometri, come ho già notato, debbono tutte riferirsi a lampi orizzontali o quasi orizzontali.

Lo studio fotografico dei lampi rivela ancora qualche carattere nuovo ed imprevisto. Così il signor W. Prinz nell'osservatorio di Bruxelles ha scoperto che certi lampi sono composti di varie liste parallele, separate da intervalli oscuri: e il dott. Em. Touchet ai 29 del luglio 1903 ottenne una nettissima fotografia, nella quale l'immagine di un lampo orizzontale, leggermente arcuato e lungo più chilometri,

---

[1] Il signor ing. Bassani fece importantissime osservazioni sui temporali del Friuli. Gli sono assai grato per la squisita cortesia con cui volle comunicarmi quelle relative alla forma dei lampi.

è formata di cinque zonette parallele per un buon terzo della lunghezza, ed esse divergono poi una dopo l'altra, sparpagliandosi in sottilissimi ramuscoli campati in aria.

Non meno degni di attenzione sono i lampi parabolici e sinuosi, cioè una o più volte ricurvi in un piano verticale. Nel pomeriggio del 18 agosto 1876 io e due miei amici tornavamo da Cisterna a Velletri mentre un temporale lampeggiava e tuonava a ponente ed a

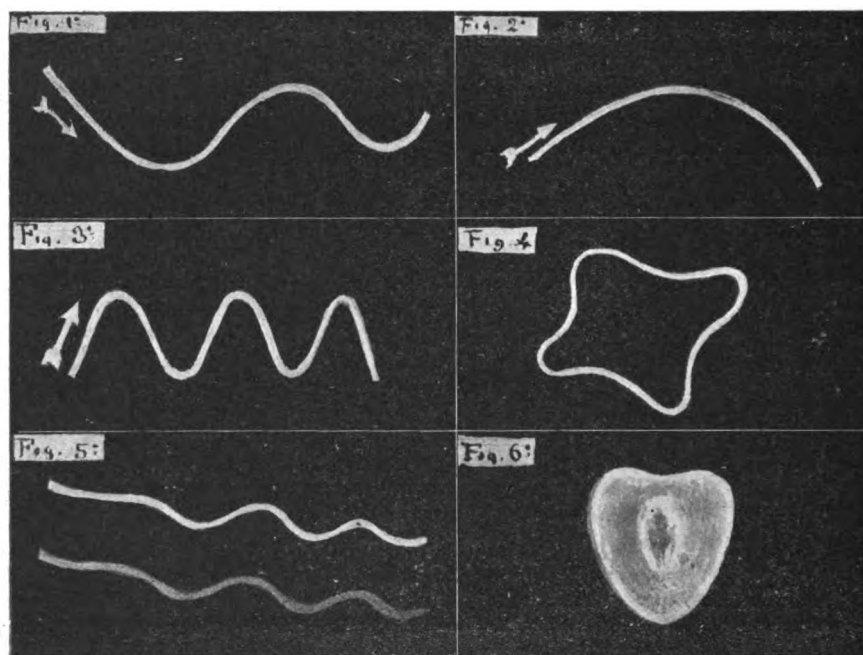



Fig. 1, 2 e 5 forme di lampi (Galli); fig. 3 e 4 forme di lampi (Perrin); fig. 6 fulmine in forma di cuore (signorina Barigioni). — Disegni del prof. Mario Ciancia.

poca distanza. Verso le 16^h 30^m tutti e tre vedemmo un lungo lampo che scendeva e risaliva due volte, descrivendo una sinuosa come indica la *Figura 1.ª* Qualche minuto appresso uno de' miei compagni ne vide un altro di forma parabolica colla convessità in alto (*Figura 2ª*). Ambedue procedevano da S. a N. Credetti allora che questa osservazione fosse nuova: ma ho trovato poi che era già fatta. Così l'Arago: « Howard a vu des éclairs qui, après avoir terminé presque complètement leur course descendante, revenaient sur leurs pas, et parcouraient dans ce mouvement rétrograde, ou de bas en haut, le tiers, la moitié même de l'intervalle compris entre les nuages et le

sol; se reployaient là de nouveau et allaient frapper quelque objet terrestre » (Op. cit. pag. 29, nota 2.). Paolo Perrin suppose che la figura sinuosa, osservata anche dal Coulvier-Gravier, non sia altro che la proiezione di una larga spirale, e soggiunse: « Voici une forme d'éclairs dont je me suis toujours souvenu » ([1]) (*Figura 3ª*). È probabile che tale forma sia davvero apparente e derivi da un'elica ad asse orizzontale: e forse gli stessi lampi detti a zig-zag sono pure eliche molto irregolari ed angolose, siccome apparì nella fotografia ottenuta a Parigi dal signor Carlo Moussette la sera del 12 maggio 1886.

Il Perrin osservò una forma ancora più strana: « En 1840, me trouvant sur la terrasse du Jardin des Tuileries, du côté de la place de la Concorde, je vis un éclair affectant la forme d'une courbe fermée, composée d'une suite de serpenteaux (*Figura 4ª*); le bruit qui en résulta ressemblait à celui produit par un bouquet de feu d'artifice » (*ibid.*). Poco diversa deve essere la forma a fibbia (*en boucle*), della quale parla il Touchet. Ma molto più complicata è quella che rappresenta un nodo, come un 8, rivelata dalla fotografia al Moussette il 12 maggio 1886 e al Labeaume il 2 settembre dello stesso anno ([2]).

Ignoro se la forma di corona o di circolo girante sia stata ancora descritta: essa fu osservata a Velletri e a Terracina il 17 giugno del 1876. Alle 4.ʰ 55ᵐ del mattino fu colpito con detonazione breve e fortissima il parafulmine posto sull'angolo NE del palazzo municipale: e poco prima del tuono parecchie persone videro una corona di fuoco girare orizzontalmente sopra la punta. La corona girante fu vista anche da un uomo, a cui quella punta era nascosta da una casa. Un'ora più tardi il temporale giunse a Terracina, dove una casa venne fulminata; e anche là una donna vide la corona di fuoco che girava in un piano orizzontale, e la descrisse chiaramente, aiutandosi coi gesti, all'ingegnere Romolo Remiddi che me ne scrisse immediatamente, senza sapere dell'osservazione fatta a Velletri.

XXIX. — Un altro fenomeno da non trascurarsi è quello di una

([1]) *Étude sur les éclairs:* Paris 1873. Pag. 85.

([2]) *L'Astronomie* di CAMILLO FLAMMARION, 1886. Pag. 350 e 433. — Il 21 giugno del 1874 l'ingegnere Bassani aveva già osservato a Udine un lampo nastriforme aggrovigliato in due punti.

specie d'attrazione fra due lampi. « M. Ganot, ancien élève de l'École polytechnique, m'écrit qu'il vit distinctement, dans le mois d'octobre 1838, des éclairs qui partirent de deux points très-differents d'une nuée orageuse, se réunir et descendre ensuite jusqu'à terre. L'observateur croit pouvoir affirmer que le phénomène ne fut pas un éclair ascendant qui se bifurqua en approchant des nuages » (ARAGO). Il Coulvier-Gravier narrò altri casi osservati nei temporali del 13 luglio 1829, del 24 giugno 1853 e del 31 luglio 1854, « où, toujours, deux éclairs de première classe (*lineari o a nastro*), partis des extrémités de l'orage, se sont réunis en un même point du ciel, duquel point aussitôt la foudre, en forme de boule, s'est dirigée vers la Terre » (PERRIN).

La sera del 19 agosto 1880 il signor A. Trécul avvertì a Parigi che alcuni parafulmini erano avvolti come da un cilindro luminoso. « Mais à deux reprises différentes je vis deux de ces colonnettes lumineuses s'élevant simultanément et parallèlement, à une distance que je jugeai égale à celle qui sépare deux paratonnerres voisins. A une certaine hauteur qui ne devait guère dépasser celle des paratonnerres, elles se précipitaient l'une vers l'autre, exactement à angle droit. Elles étaient alors terminées en pointe, et s'éteignaient sans déflagration et sans bruit, avant de s'être réunies » (*C. R.* t XCI, pag. 408). E la sera dell'8 maggio 1890 l'astronomo E.-L. Trouvelot fece a Meudon queste altre osservazioni: « Les éclairs, nombreux et très élevés, avaient presque tous une direction horizontale; plus tard, quand la pluie eut commencé, il s'en produisit de verticaux, allant de la nue à l'horizon. Ces éclairs horizontaux se distinguaient par une forme arborescente bien décidée, dont les nombreuses ramifications allaient, en s'atténuant, se perdre dans la nue. En général, il se montraient isolément; mais, entre 6^h 50^m et 7^h 10^m, on en vit plusieurs qui apparaissaient à la fois, et, venant de directions opposées, marchaient à la rencontre l'un de l'autre. Une paire de décharges, qui sous-tendait un angle de plus de 90°, apparut en face de moi, dans des conditions particulièrement favorables pour l'observation. L'apparition fut simultanée: deux points éloignés de la nuée s'allumèrent au même instant, et deux masses éblouissantes de lumière se précipitèrent l'une vers l'autre en se divisant en nombreuses branches qui, elles-mêmes, se subdivisaient en branches plus petites. La rencontre, qui semblait inevitable, n'eut pas lieu cependant; mais il s'en fallut de bien peu,

car un espace de moins de 10° séparait l'extrèmité des branches opposées » (*C. R.* t. CXI, pag. 483).

XXX. — Tutti questi fenomeni sono altrettanti problemi che non si risolvono colla sola teoria elettrica. Nè può dirsi che essi sieno eccezioni trascurabili nella questione generale: perchè una teoria non è sicura se non abbraccia tutti i fenomeni compresi nella sua cerchia; perchè nei fatti naturali non si dànno mai vere eccezioni, e quelli che sogliono così chiamarsi sono soltanto fenomeni sfuggiti alle nostre ristrette e superficiali considerazioni; e perchè anche i lampi più comuni, in figura di nastro rettilineo o angoloso, presentano caratteri che non convengono bene alla semplice scintilla, come la durata e il vario colore.

Roberto H. Scott scrisse: « È impossibile l'affermare se il guizzar del lampo vada dalla nube alla terra, od in direzione opposta » [1]. Questa asserzione scaturì probabilmente dal concetto della scintilla e dai primi tentativi del Wheatstone sulla durata dei lampi, che allora fu giudicata appena eguale ad un milionesimo di secondo. Ma il Dove, il Dufour, il Roth, collo stesso artificio del disco girante, ebbero misure molto più lunghe, fino al quarto e alla metà di un secondo, e il professor Giuseppe Belli fino ad un intero secondo.

Il Prinz usa di un metodo indipendente dall'occhio per allontanare ogni dubbio. Egli fa scorrere, con velocità determinata, la pellicola oppure la lastra fotografica davanti all'obbiettivo, ora fisso ora oscillante: e dall'esame delle immagini ha concluso che « la durée totale de l'étincelle atmosphèrique varie entre l'instantanéité et une seconde; elle est voisine d'une 1/2 seconde ». Alla medesima conclusione è giunto il Larsen a Chicago. Quindi, salvo il caso di vera istantaneità che è molto raro, i lampi hanno una durata assai più lunga di quella che compete alla sola scarica elettrica, e perciò se ne può stimare ad occhio il verso della direzione, come tutti hanno visto fin dalla più remota antichità.

Il Walther e lo Schmidt credono che i lampi di durata apprezzabile sieno scariche di forma oscillatoria. Questa ipotesi potrebbe convenire pel caso di lampi rettilinei e verticali: ma pei lampi tortuosi, angolosi, curvilinei, elicoidali, aggrovigliati — che in generale sono i più durevoli — abbiamo noi il diritto di supporre che le sca-

[1] *Meteorologia elementare:* Milano 1887. Pag. 197.

riche alternative seguano sempre esattamente la stessa via? Qualunque sia la vera natura del lampo, è certo che esso devia dalla linea retta perchè incontra resistenze numerose e variabilissime, e che deve superarle alterando il mezzo di propagazione: cosicchè, dopo la prima scarica, le successive e specialmente le opposte non incontrerebbero più le resistenze del medesimo valore ed egualmente distribuite. Si potrebbe forse soggiungere che la prima scarica apre e spiana la via alle seguenti, anche nei casi più complicati: ma allora si accumulerebbero troppe ipotesi, e non si sa dove mai si andrebbe a parare [1].

Da alcune fotografie del Prinz risultò che talora i lampi sono composti di più fasi, separate da intervalli brevissimi: e recentemente il Larsen è riuscito a contare in qualche fotografia insino una quarantina di fasi. Questa scoperta importantissima spiegherebbe bene la durata apprezzabile del fenomeno: ma, tenendo conto delle considerazioni precedenti e delle altre che seguono, non dimostra la forma oscillatoria della scarica, e dà piuttosto a sospettare che vi concorra qualche causa finora ignota.

XXXI. — Alberto Magno disse che i lampi hanno varie colorazioni, e forse nessuno prima di lui se n'era accorto così bene, perchè gli antichi, da Aristotele in poi, parlarono soltanto di lampi bianchi e di lampi fumosi, cioè rossastri. « Coruscatio denique aliquando videtur alba, et aliquando citrina, et aliquando subrubea, et aliquando quasi rubicunda, et aliquando fumosa nigra lucens aliquantulum, sicut carbones obscuri igniti » [2]. La notazione di questo carattere è ordinariamente omessa, e pochissimi autori ne trattano. F. Arago, a proposito dei lampi comuni, assicurò: che « ces éclairs ne sont ni toujours blancs, ni toujours de la même couleur. Les météorologistes déclarent en avoir vu de purpurins, de violacés, de bluâtres »: ed aggiunse in una nota che la conoscenza di tale carattere può avere una grande importanza, massime se le osservazioni si facessero dentro le nubi. Il Sestier enumerò anche qualche altro colore: « Nous avons déjà dit que les éclairs linéaires étaient ordinairement d'un blanc éblouissant, mais qu'ils pouvaient prendre une teinte jaune, rouge,

---

[1] Per togliere ogni difficoltà il Logan molti anni avanti aveva negato la realtà dei lampi tortuosi, ed aveva supposto una illusione prodotta dalla irregolare rifrazione atmosferica. *Étrange conception*, disse l'Arago, ma non la credeva assurda.

[2] *Meteororum Tractatus III*, cap. 18.

bleue, même verdâtre et pourpre » Il luogotenente Cameron, colto da un gran temporale in Africa verso la fine del 1874, così lo descrive: « L'accampamento era appena rizzato che un uragano, accompagnato da vento violento e da pioggia torrenziale, presentò il più grandioso spettacolo. Quantunque fossimo nel mezzo del giorno, non vi era altra luce che quella delle correnti quasi continue della fiamma elettrica: fiamma azzurra e rossa, che sembrava si spartisse spesso in una forca a tre o quattro rami. Sovente il baleno era largo e formava delle onde simili a sprazzi d'acqua viva, e poteva allora calcolarsene anche la durata ».

Il Symons, da un triennio di osservazioni speciali eseguite in Inghilterra, dedusse che, su 100 lampi, 36 sono azzurri, 25 rossi, 21 bianchi, 18 gialli. Il signor Spencer C. Russel ha studiato i colori dei lampi in 57 temporaii dell'ultimo quinquennio 1903-1907, e ne ha concluso che i lampi ramificati sono quasi sempre rossi, talora azzurri, raramente aranciati o verdi; che i lampi nastriformi e larghi sono più spesso bianchi, e un poco meno spesso rossi o gialli; e che nei temporali grandinosi sembra più frequente il colore azzurro (REVUE NÉPHOLOGIQUE). Io ho visto di rado lampi decisamente bianchi: il più delle volte erano violacei o azzurrognoli, talora purpurei o verdini o gialli. I violacei conservano lo stesso colore anche in basso, e perciò questa colorazione non può spiegarsi coll'ipotesi dell'aria rarefatta, come pensò il Sestier. Ho inoltre osservato che in ogni temporale domina sempre uno stesso colore, e tale circostanza mi sembra da non doversi trasandare. Orbene, il vario colore dei lampi ci costringe a ritenere che, o nella loro origine o nel mezzo di propagazione, esista qualche sostanza materiale capace di emettere onde luminose di lunghezza determinata. I fulmini globulari, e gli altri analoghi di forma nettamente limitata, che mostrano i medesimi colori e spesso nascono da un lampo comune, non potrebbero concepirsi senza il concorso di materia pesante.

XXXII. — L'odore che spande il fulmine si crede comunemente che derivi sempre dall'ossigeno dell'aria trasformato in ozono: ma in molti casi — citati dall'Arago, dal Sestier e da altri — bisogna assolutamente escludere la presenza dell'ozono. In questi casi, alcuni dei quali avvenuti in alto mare, non solo si afferma colla più grande convinzione che l'odore era di solfo bruciato, cioè di anidride solforosa, ma se n'è visto il fumo più o meno, denso, dannoso alla respirazione,

e il puzzo continuò per molto tempo. — A tre ore dopo il mezzodì del 31 decembre 1778 l'*Atlas* ricevette un fulmine e il marinaio di guardia fu ucciso. Sembrò che il bastimento andasse a fuoco, ma non ebbe danni percettibili. « Seulement il se répand partout une forte odeur sulfureuse, qui dure tout le reste du jour et toute la nuit suivante ». (ARAGO). — Nel mattino del 19 agosto 1781 il medico Simeoni fu colpito da fulmine presso l'Adige: cadde a terra e vi rimase tramortito sotto un diluvio di pioggia. « Per otto giorni sentì il sig. Dott. Simeoni intorno la sua persona una puzza di solfo, che nel principio gli era insopportabile ». (TOALDO). — Si sono trovati anche composti chimici. Sopra una spranga di ferro fulminata Ambrogio Fusinieri scoprì cristallini di solfuro (GIORNALE DI FISICA E CHIMICA). — Il 14 giugno del 1846 un fulmine scoppiò nella chiesa di Saint-Thibault a Coux. « Un cadre doré et six chandeliers dorés etaient devenus complétement noirs.... Des expériences chimiques ont démontré que cette couche noire était un sulfure » (BONJEAN citato dal Sestier).

Altre volte l'odore si assomiglia piuttosto a quello della polvere pirica, e tale parve anche a Velletri il giorno 28 giugno 1875, quando un fulmine di forma elissoidale passò per una camera poco prima di mezzodì. Una mezz'ora più tardi il fumo era ancora così nero e così denso, che non lasciava scorgere gli oggetti, e così puzzolente da non potersi soffrire e da eccitare violentemente la tosse. Il Peltier, giudice molto competente, disse che i fulmini globulari dànno più fumo e più puzzo.

A tale proposito citerò due fatti singolarissimi. Il primo fu registrato dallo Scheuchzer. Nel pomeriggio del 23 maggio 1712 un fulmine globulare di circa 15 centimetri — che prima s'era slanciato orizzontalmente a tre metri dal suolo contro un albero, staccandone larghe strisce di scorza senza tracce di bruciatura e come si potrebbe fare con un coltello — andò su d'una casa presso Bade, e vi produsse effetti eguali a quelli del fulmine comune. Ma un uomo che stava per entrare in una camera, vide come una piccola nube bianca, all'incirca di un piede e mezzo (40-50 cent.), che ruzzolava con lentezza sul pavimento e fumava in alto. — Il secondo fatto accadde in una casa presso Castelgandolfo verso le 16^h 45^m del 9 settembre 1877, e mi fu raccontato sul luogo da parecchi testimoni pochi giorni dopo. Nella cucina del secondo piano tre bambini dai 6 ai 12 anni erano vicini al focolare: la madre poco lontana. Fiammeggiò un lampo abbagliante,

e sulla testa dei bambini cadde la metà inferiore del travicello che faceva da architrave alla cappa. Nello stesso momento apparve in mezzo alla cucina un globo nero, come di fumo densissimo, grande 25 o 30 centimetri, il quale scoppiò lampeggiando sul viso della donna senza offenderla, e poi fuggì per la porta aperta. La cucina si riempì di fumo puzzolentissimo, simile a quello della polvere da sparo, e quella donna credè che avesse preso fuoco un buona quantità di polvere posta sopra un armadio: ma fu trovata perfettamente intatta dentro i cartocci. Il bambino più piccolo restò come morto per due ore. Esaminai le due parti del travicello: la spaccatura era regolarissima e solo ad una estremità si vedeva un breve annerimento su l'una e l'altra superficie fresca. I chiodi erano verticali, cioè trasversali alla spaccatura, e non potevano averla determinata: in essi e negli arnesi di cucina non potei scoprire alcuna traccia di fusione.

XXXIII. — Riccardo Boyle narrò un fatto non meno maraviglioso, che l'Arago tenne per autentico. « En juillet 1681, la foudre produisit beaucoup de dégâts, près du cap Cod, sur le bâtiment anglais l'*Albemarl*. Le coup de foudre fut suivi de la chute, dans la chaloupe même suspendue à la poupe du navire, d'une matière bitumineuse qui brûlait en répandant une odeur semblable à celle de la poudre à canon. Cette matière se consuma sur place; on avait essayé vainement de l'éteindre avec de l'eau, ou de la projeter dehors en se servant de tiges de bois ». (Op. cit. pag. 220). — Un fatto somigliante occorse nel pomeriggio del 28 luglio 1885 vicino a Luchon. Il fulmine caduto a circa 20 metri da un uomo, incrostò di materia fusa e lucente le pietre del muro che fiancheggia la strada: e il geologo Stanislao Meunier trovò che quella materia era « une résine facilement inflammable, qui on peut distiller, que l'alcool dissout pour l'abandonner sous forme de précipité en présence de l'eau » (LA NATURE 1886). — A tale racconto il signor Trécul si sovvenne che « le 25 août 1880 il vit tomber d'un nuage orageux des gouttes de matière inflammée » (Ibid). — Un fenomeno poco diverso fu osservato a Sotteville nell'agosto del 1885. « Le tonnerre grondait, la pluie tombait à torrents. Tout à coup les personnes voisines de la rue Pierre-Corneille, en face de la rue Leroy, ont vu tomber plusieurs petites boules de la grosseur d'un pois ordinaire, qui en touchant terre, brûlaient laissant échapper une petite flamme rouge, en tirant sur le violet. Un des témoins en a vu au moins une vingtaine, et lorsqu' il a

mis le pied sur l'une d'elles, elle a de nouveau produit une flamme. Elles n'ont laissé aucune trace sur la terre » (ASTRONOMIE 1886). — Così era avvenuto anche a Langres il 13 giugno 1877 dentro il pianterreno di una casa ([1]).

Le osservazioni che si conoscono di sostanze materiali contenute nel fulmine o da esso trasportate, sono veramente poche: ma non dobbiamo dimenticarle, perchè altri fatti ci conducono alla medesima conclusione. Il temporale del 9 settembre 1877, che a Castelgandolfo produsse il globo fumoso esplodente, investì Velletri circa mezz'ora più tardi, e vi colpì almeno quattro parafulmini senza danni di sorta. L'aria era agitatissima: nel tubo del barometro il mercurio guazzava come se l'istrumento fosse scosso ad arte. I lampi, quasi tutti a grande zigzag, avevano un forte color porpora, e notai con meraviglia che il solco luminoso, un poco indebolito, restava in aria per un paio di secondi. Varie persone avvertirono lo stesso fenomeno, e vennero a dimandarmene la spiegazione che non seppi dare. È stato poi osser, vato e descritto anche dal Pockel, dal Liais, dal Prinz e dal Touchet- il quale eslcude l'ipotesi di scariche successive ed inclina a crederlo un effetto di fosforescenza o di incandescenza (LA NATURE 1904). Ma uno di quei lampi mi presentò una variazione ancora più difficile a spiegarsi, e forse rarissima, perchè non la veggo registrata da alcuno. Era un lampo leggermente ondulato e quasi orizzontale, anch'esso di color porpora, il quale restò così disegnato per due o tre secondi. Poi si abbassò tutto insieme di circa 5°, mantenendosi parallelo alla posizione originale e conservando quasi esattamente le stesse ondulazioni. Mossi gli occhi temendo di una illusione: il nastro luminoso, meno vivo di prima, rimase al suo nuovo posto, e poi sparì istantaneamente. La *Figura 5ª* è presa da uno schizzo che feci appena passato il temporale. Questo fatto, di cui io non posso punto dubitare,

---

([1]) Probabilmente erano fulmini globulari con qualc heresiduo di materia organica quelli di cui parla il Fromond. « Robertus Fluth, Anglus scriptor affirmat, se quondam ignem fatuum noctu secutum et assecutum: et materiam invenisse non igneam, sed viscosam et lubricam, compactam in modum spermatis ranarum, distinguentibus nigris et exiguis maculis subalbidam, quae vice speculi redderet stellarum lumen... Sidus aliquando coelo lapsum vidisse se, Clariss. Vir D. Petrus Castellanus. Medicinae et litterarum Graecarum Professor, Vir tam fide dignus, quam Medicina, et omni politiori litteratura inter Academiae nostrae eruditissimos conspicuus, mihi narravit, materiamque eius non longe abfuisse ab ea quam Fluth in fatuo suo igne deprehendit » (LIBERTI FROMONDI *S. Th. L. Collegii Falconis in Accademia Lovaniensi Philosophiae Professoris Primarii* METEOROLOGICORUM LIBRI VI. Antuerpiae, MDCXXVII. — Pag. 35 e 37).

sfugge all'ipotesi della fosforescenza, e lascia piuttosto supporre che una grande quantità di particelle materiali, incandescenti o brucianti sieno calate secondo linee verticali per una istantanea rarefazione dello strato aereo che le sosteneva.

XXXIV. — Un altro fenomeno, raro ma importantissimo, è quello dei lampi che senza diffusione di luce s'innalzano al di sopra delle nubi nell'aria serena. I due viaggiatori, che al principio del settembre 1716 scendevano dalla cima del Cantal (cap. XXII), furono forse i primi ad osservare questa foggia di lampi. « Le temps était serein et très chaud. Ils aperçurent en bas, vers le milieu de la montagne, un brouillard qui couvrait tout le vallon. Au-dessus du brouillard s'élevaient une quantité de feux; d'autres serpentaient dans la nuée. On entendait en même temps un grand bruit, quoique moindre que le bruit ordinaire du tonnerre. La variété et les divers mouvements de ces feux, qui ressemblaient tantôt à des gerbes de fusées, tantôt à des serpentaux qui coupaient la nuée en mille sens differents, offraient aux yeux un objet très agréable » (PLANTÉ, l. c.).

Un fatto della stessa specie attirò la mia attenzione verso le 19^h 30^m del 1° ottobre 1907. La massa temporalesca era lontana, distesa da W a S: al di sopra il cielo tutto sereno. Mi accorsi presto che dallo strato nuvoloso sorgevano getti infiammati, e coll'aiuto d'un binocolo potei assicurarmi che quei lampi, da 15 a 20 per minuto, si prolungavano in alto e si proiettavano sul cielo sereno in forma di colonne leggermente coniche. I contorni erano ben delineati, e non poteva sospettarsi di una illuminazione diffusa nell'aria.

F. Arago riferì un caso di fulmine partito dalla superficie superiore di un temporale, che il 1° del maggio 1700 s'era formato a mezza altezza del monte Sant'Orsola nella Stiria. Quel fulmine colpì la chiesa, eretta sulla cima del monte, e vi uccise sette persone. Ma in questo caso si aveva un rilievo terrestre più alto del temporale.

XXXV. — Gli autori antichi parlarono più volte di fulmini a cielo sereno. In molti casi è evidente, o almeno assai probabile, lo scambio coi bolidi, che anche in epoche recenti vennero talora presi per fulmini globulari: ma qualche volta le circostanze e gli effetti non permettono di dubitarne. È bene tuttavia distinguere due sorta di fatti, secondochè il fulmine uscì da una sola nuvoletta apparsa in tutto il cielo sereno, ovvero si presentò senza alcun segno di nube.

Per la prima categoria ecco i fatti raccolti dall'Arago. — Il 12 settembre del 1747, a cielo sereno e puro, si vide a Tolosa una sola nuvoletta sferica, apparentemente di 40 o 43 centimetri, dalla quale « la foudre tout à coup gronda, éclata et tua la femme Bordenave, après l'avoir brûlée au sein, sans endommager ses vétiments » (MARCORELLE). — Nel primo mattino del 30 luglio 1764, e con un bel sole, una piccola nube passava sul castello di Denainvilliers. Ne sfuggì un lampo tonante che percosse un olmo; staccò una striscia di corteccia lunga 20 piedi (m. 6,50), larga da 2 a 4 pollici (centim. 5-10); scavò il legno lasciandovi una sottilissima traccia di bruciatura; e sparse intorno un gran puzzo di solfo, che spaventò gli abitanti di una fattoria vicina (DUHAMEL DE MONCEAU). — Il Bergman vide egli stesso « le tonnerre tomber d'un très-petit nuage sur un clocher, le ciel étant d'ailleurs parfaitement clair ». — E nel 1834 il capitano Hossard vide formarsi una piccola nube intorno ad un vicino picco del Giura. « Le nuage existait à peine depuis quelque instants, quand il en partit un fort coup de tonnerre » (Op. cit. pag. 13-14).

Aggiungo la narrazione di un altro caso, trovata dal professore Rognoni nella *Gazzetta di Parma* del 1° agosto 1775. « Venerdì ultimo (*28 luglio*), verso le 6 ore del dopo pranzo, a Sole ardente e chiarissimo, da una sola nuvola di breve dimensione, verticale a poco tratto di questa Città, e che ne gittava l'ombra fuori ad oriente, spiccossi una saetta, che entrata da una finestra nel Collegio Lalatta traversò rapidamente un corridore, serpeggiò lungo i ferramenti d'una scala, rivoltossi in su e fattosi adito alla dispensa del pane, ne sortì poi per la porta maestra di quel vasto edificio. Il danno si può paragonare a nulla, e niuno ne ha preso spavento, ancorchè due di que' Convittori ne risentino ora alquanto dell'urto, uno nella spalla, l'altro nella gamba, perchè il giorno riputato intieramente sereno, il tempo confuso ed assorto da maggior luce, fece lor credere allora che il fragore ne fosse d'un fucile scaricato e la loro scossa d'inopinato movimento » (l. c. pag. 46, nota). Ma qui si deve avvertire che nel registro di Ubaldo Bianchi — il quale incominciò a fare osservazioni meteoriche fin dal 1772 — si legge: « Li 28 luglio (*1775*) temporale nel vespero a levante con tuono; indi un fulmine improvviso con grande strepito essendo quasi ciel sereno ».

Nell'ipotesi del potenziale altissimo, come si spiega che in così

piccole nubi possa accumularsi tanta elettricità, da scagliare lunghe scintille fulminanti?

XXXVI. — Di fulmini comparsi a cielo totalmente sereno non conosco che soli tre casi recenti e ben sicuri: perchè quelli citati dal Sestier difettano nelle circostanze caratteristiche. Furono tutti e tre veri fulmini globulari, e credo che il fenomeno sia possibile con questa forma soltanto.

Il primo caso avvenne a Norma, piccola città sopra un colle dei Lepini a SE di Velletri, il giorno 8 settembre del 1888 Verso le ore 14 s'intese un gran tuono, e tutti si affrettarono ad osservare donde venisse ii temporale: ma in tutto il cielo non si vide alcun segno di nube. Il fulmine, in forma di fiamma. era entrato dalla finestra aperta in una stanza, ove pranzavano otto o nove persone. Un uomo di circa 45 anni, che reggeva sulle ginocchia un bambino, fu ucciso e in parte carbonizzato: tutti gli altri perdettero i sensi per un'ora almeno, ad eccezione del solo bambino che restò illeso. Ho questo racconto dal M. Rev. D. Vincenzo Prosseda di Norma, il quale ricorda tutte le circostanze e vide le braccia annerite del povero morto.

Il secondo caso, accaduto a Pontevedra (Spagna), è così descritto nel *Cosmos* del febbraio 1890: « Le 2 janvier... à 9^{h} 15^{m} du soir, dans un ciel clair et serein, on vit apparaître tout à coup un globe de feu de la dimension d'une orange, qui tomba sur un des conducteurs d'électricité allumant la ville; il est toutefois impossible de dire comment il tomba, ni d'où il vint. Par ce chemin il se rendit avec une lenteur relative à l'usine d'électricité, détruisit l'appareil de distribution, et, relevant l'armature d'un interrupteur de courant, il frappa la dynamo en mouvement. Sous les yeux du mécanicien et des ouvriers terrifiés, il rebondit deux fois de la dynamo aux conducteurs et des conducteurs à la dynamo, puis tomba et éclata avec bruit en une multitude de fragments sans produir d'accident, et sans laisser la moindre trace de sa mystérieuse nature... Plusieurs personnes avaient vu la boule de feu dans la ville avant qu'elle ne pénétrait dans l'usine ».

Il terzo caso avvenne a Roma la sera del 29 giugno 1903, ed è forse il più maraviglioso nella storia dei fulmini che per la forma più frequentemente sferica sogliono chiamarsi globulari, sebbene prendano anche altre forme diverse. In quel giorno la pressione atmosfe-

rica era di circa 4 millim. più alta della media, e crebbe ancora un poco insino al mattino seguente. Dal 27 al 30 il cielo fu sempre sereno in tutto il Lazio, senza temporali lontani. Ecco la bella descrizione che mi ha favorito la gentilissima signorina Giuseppina Barigioni Pereira-Santiago:

« Il 29 giugno 1903, sull'imbrunire e con tempo sereno, io era seduta sopra una torretta al quinto piano della mia abitazione in via delle Quattro Fontane n. 33, quando all'improvviso fui sorpresa da una forte luce. Presso di me una grossa lingua di fuoco a forma di cuore si librava nell'aria: leggera come piuma, quantunque sembrasse fatta di materia piuttosto densa. Era lunga circa 22 cm. e larga poco meno, assottigliata nel margine e alquanto rigonfiata nel mezzo, rossa e spessa come una lingua di grosso animale: nel centro si vedeva un nucleo come il nocciolo d'una pesca (*Figura 6ª*). Questo corpo linguiforme, e luminoso come una lampada elettrica, venne più volte a ronzarmi leggermente vicino alle orecchie a guisa di un moscone, e poi si diresse ai numerosi fili del telefono, sorretti da un palo fissato sulla mia casa. Colà saltellava da un filo all'altro: poi di nuovo si avvicinò a me e tornò ai fili più volte. Finalmente raggiunse il detto palo, e di là per un filo che scende verso la Via Nazionale si precipitò sopra un filo del tramvay elettrico e lo fuse in un attimo. Allora si videro due vivissimi lampi di luce rossa, e le vetture tramviere si arrestarono istantaneamente. La gente che passava si fermò stupefatta, non conoscendo la causa dell'avvenimento: la linea tramviaria fu subito riparata. Io e il cane barbone che mi stava vicino rimanemmo immobili, solo seguendo coll'occhio attonito tutta quella stranissima scena; ma appena avvenuta la scarica ci sentimmo riscossi come da torpore, e frettolosamente rincasammo » ([1]).

Nel fenomeno narrato dalla signorina Barigioni ritroviamo due caratteri osservati altre volte, ma isolatamente: il gironzare della meteora intorno ad una persona, e una specie di nucleo più denso. Così il 2 giugno del 1843 a Parigi un globo di fuoco girò più volte

([1]) La descrizione di questo fenomeno fu comunicata alla *Meteorologische Zeitschrift* dal chiarissimo signor professore Luigi Palazzo, Direttore del R.° Ufficio Centrale di Meteorologia e Geodinamica, secondo una lettera del signor ingegnere Cesare Barigioni Pereira-Santiago, il quale con somma gentilezza mi ha procurato la relazione scritta da sua sorella ed ha eseguito il disegno riprodotto nella *Figura 6ª*.

intorno alle gambe di un sarto, e poi si sollevò passandogli vicino alla faccia, senza offenderlo e senza dargli sensazione di caldo (BABINET). E a Velletri il 20 luglio del 1885 un fulmine globulare, entrato da una finestra aperta, sfiorò la guancia sinistra di una giovinetta con un soffio tiepido, e tornò subito indietro uscendo per la stessa finestra. — Il 15 agosto del 1791 presso Casal Maggiore un grosso globo di fuoco era nero nel centro e gittava fiamme da ogni parte (Dott. GUAZZI). — Ma il caso occorso alla signorina Barigioni si distingue da tutti gli altri, sia perchè avvenne in un periodo di giorni senza temporale, sia ancora perchè il fulmine aveva una forma quasi piatta in figura di lingua. Il Sestier sospettò che questi fulmini possano avere la forma di disco, senza trovare esempi.

XXXVII. — L'esposizione documentata dei caratteri che furono notati nei globi fulminanti esige un lavoro speciale. Qui ricorderò soltanto che essi appariscono molto spesso nei luoghi colpiti dal fulmine comune; che talora si veggono scendere o salire, seguiti da nastro luminoso diritto o contorto, simile ai lampi lineari; e che non di rado lanciano razzi fulminanti cogli effetti medesimi del fulmine comune.

Quando si fanno ricerche diligenti su ciò che apparve in un luogo fulminato, senza preparare in alcun modo i testimoni, è raro il caso che non venga indicata qualche forma definita: una palla, un uovo, un braccio, un grosso bastone, un serpente. I pastori, i contadini, gli artigiani, che sono più esposti ai temporali e non hanno in testa teorie da sostenere, forniscono spesso notizie di grande valore scientifico. Anche gli antichi concepivano il fulmine come un corpo: perciò lo confondevano coi bolidi, coi fuochi fatui e coi gas infiammabili, e lo disegnavano a modo di globo, o di pera, o di fiamma.

Alcune volte la forma sferica è in capo al solco luminoso. Ai 10 del giugno 1905 il signor H. Rudaux vide un lungo lampo nastriforme preceduto da tre grossi globi soprapposti, che restarono così sulla punta di un parafulmine per un tempo bastevole a farli bene osservare (LA NATURE). Il D'Abbadie, il Clare, lo Schubler e il Kaemtz osservarono globi luminosi seguiti da lampi lineari, come ho già detto. Un lampo verticale si trasformò dinanzi al professor Müncke in una moltitudine di piccoli globi (ARAGO). E la sera del 24 febbraio 1884 un solo lampo vivissimo, con formidabile tuono immediato, colpì il teatro di Amiens sprovvisto di parafulmini: nello stesso momento

piccoli globi di fuoco comparvero almeno in sette luoghi intorno al teatro, e la distanza massima tra due di quei punti fu di 1300 metri (PLANTÉ). — Qualche volta il lampo stesso è tutto ornato di piccole masse brillanti riunite da un filo meno luminoso: l'hanno denominato *lampo a rosario*. La sera del 3 settembre 1873, l'ingegnere Bassani ne osservò sei a Udine, e gli parve che durassero almeno un secondo. I globetti sembravano stelle di 1ª grandezza, erano equidistanti, e in un lampo avevano luce bianca, in due gialla, in tre rossa. Gastone Planté ne vide altri bellissimi a Parigi nel mattino del 18 agosto 1876.

Ma da questi globi, che talora si vedono bruciare, possono spiccarsi terribili saette. Verso la metà del giugno 1849 la signora Espert vide a Odiot un grande globo rosso che bruciava di sotto, e poi scoppiò con tuono fortissimo avventando una dozzina di fulmini a zigzag, uno dei quali colpì una casa e vi aprì un foro come avrebbe fatto una palla di cannone. Il resto del globo continuò a bruciare « avec une flamme blanche, vive, et brillante, et à tourner comme un soleil de feu d'artifice » (ARAGO).

XXXVIII. — Sembra adunque che i lampi comuni possano trasformarsi in globi fulminanti, e viceversa. Ma la trasformazione sarebbe veramente e unicamente opera della energia elettrica? Sono notissimi i belli esperimenti di Gastone Planté, che colle sue potenti batterie secondarie fin dal 1875 riuscì ad ottenere globuli incandescenti, e credette di avere così riprodotto in piccola proporzione veri fulmini globulari. Nel 1890 il professore von Lovel ne ottenne altri con una macchina elettrostatica ad induzione. Tutti questi globuli erano sempre incandescenti, cioè a temperatura elevatissima, e la loro posizione dipendeva sempre da quella dei poli.

I globi fulminanti naturali hanno caratteri essenzialmente diversi. Prima di esplodere sono freddi o poco caldi; toccano le persone senza forti scosse, senza o quasi senza lesioni; attraversano il legno senza bruciarlo; si posano sui fili metallici senza arroventarli, e talora anche senza estinguersi prontamente. — Il 29 agosto del 1791 un globo di fuoco ruzzolò su di un prato presso Pavia, corse ai piedi nudi di una fanciulla, salì sotto la gonnella che si gonfiò a guisa di un ombrello, uscì poi dal petto e si slanciò in aria scoppiando. Solo allora la fanciulla cadde svenuta: e non si trovò altro che una sottilissima escoriazione sfrangiata dal ginocchio sinistro alla metà del petto, uno sgarro nella camicia e un foro di due linee (poco più di

2 centim.) nella pettorina del busto (SPALLANZANI). — Il 3 marzo 1835 a Crailsheim un globo fulminante scorse lungo la schiena di una giovane, e si sparpagliò in piccole fiamme a' suoi piedi: essa ne ebbe soltanto una scossa (KAPP). — Il 5 luglio del 1883 un globo ovale color d'oro, lungo circa mezzo metro, passò per la stretta fessura d'una porta chiusa, e il signor Hildebrandson non vi potè scoprire alcuna traccia di fuoco (LA NATURE). — Nell'aprile del 1814 a Cheltenham il globo fulminante piombò sopra un cumulo di fieno compatto e, senza incendiarlo, vi scavò un grande foro imbutiforme, producendo nel terreno una folgorite profonda parecchi piedi (HOWARD). — Mentre infuriava l'uragano di Saint-Claude, ai 19 dell'Agosto 1890, moltissimi globi di fuoco volteggiavano nell'aria ed entravano nelle case, muovendosi lentamente seguiti da una spirale luminosa. « M. Enard, journaliste, a vu des boules de feu attirées par les pointes de fer d'une grille et sauter de pointe en pointe pendant toute la durée de la tempête » (Prof. CADENAT nei *C. R.* t. CXI). — Nel 1895 un ufficiale francese vide per alcuni secondi sopra un'asta verticale di ferro un globo di 30 centimetri, simile ad un faro elettrico, e sormontato da un pennacchio di scintille (MASCART). — Avviene ancora che i globi fulminanti non producano sempre l'induzione elettrica sui metalli e sulle stesse punte dei parafulmini, come fu più volte osservato. Il 9 ottobre del 1885 a Pera presso Costantinopoli un globo di fuoco entrò per la finestra in una sala da pranzo, rasentò un becco di gas illuminante, passò fra due commensali, girò intorno alla lampada sospesa al di sopra della tavola, e poi andò a scoppiare nella strada, quantunque la casa fosse circondata da palazzi con molti parafulmini (MAUROCORDATO).

XXXIX. — La forza esplosiva di questi globi è qualche volta spaventosa. Alle $19^h\ 35^m$ del 20 decembre 1875 un globo violaceo, apparentemente grande come la luna, scoppiò a Velletri sulla Torre del Trivio alta 42 metri, con lampo abbagliante, con tuono breve, ma terribile, e con una pioggia fittissima di scintille e di razzi che giunse fino alla distanza di circa 80 metri e durò 5 o 6 secondi. Poi in tutta la piazza e nelle vie vicine fumo denso e puzzo assai fastidioso, che molti assomigliarono a quello dell'anidride solforosa e un farmacista a quello dell'acido solfidrico. L'onda aerea fracassò tutti i vetri fino a 75 metri di distanza, e qualche persona a circa 320 metri ricevette sul petto un colpo violento. La piramide ottagona della torre, fatta

di grossi mattoni e alta 8 metri, fu demolita quasi interamente, e ne ritrovai alcuni pezzi dietro il palazzo Ginnetti alla distanza di 150 metri. Orbene, perchè quei pezzi di mattone potessero cadere al di là del palazzo, dovettero esser lanciati all'altezza di almeno 300 metri.

Altri esempi. — Nella notte dal 14 al 15 aprile del 1718, tre globi di un metro si precipitarono sulla chiesa di Couesnon presso Brest, e ne fecero saltare in aria i muri e il tetto come per mina (DESLANDES). — Nel pomeriggio del 2 marzo 1769 una nube nera si stese sopra Buckland, versando molta grandine. Ne uscì un globo che, con esplosione pari a quella di cento cannoni, abbattè il comignolo della torre, e lanciò lontano massi di pietra di 700 libre (circa 300 chilogrammi): una pietra di 8 libre fu balzata a 60 pertiche (200 metri) (PAXTON).

Tanta violenza di proiezione deriva forse dalla istantanea evaporazione dell'acqua racchiusa nei muri: ma la forza viva originaria deve sempre venire dal globo, e non credo che sia cosa facile immaginare in qual forma vi sia condensata. Certo non può essere attuale energia elettrica, accumulata in così breve spazio e senza proporzionate manifestazioni prima dello scoppio. E non può essere attuale energia termica, che aumenterebbe enormemente il volume e provocherebbe l'esplosione fin da principio. Resta solo l'ipotesi di una istantanea combinazione, poniamo pure preparata e determinata da una debole carica. Si potrebbero così spiegare non solo i successivi fenomeni elettrici e termici come trasformazioni della energia chimica, ma ancora il fumo e il puzzo come prodotti della stessa combinazione. Ma quali ne sarebbero gli elementi?

XL. — Pei globi fulminanti non fu mai tentata l'analisi spettrale, e — salvo qualche caso fortuito — non è a sperare che possa farsi. Sappiamo soltanto che il colore di questi globi suole essere quel medesimo che apparisce più debolmente nei lampi comuni: rosso, giallo, verde, azzurro, violaceo, talora bianco, talora offuscato da involucro vaporoso, e qualche rara volta nero come fumo denso. Pei lampi comuni il professor Kundt nel 1869 trovò righe lucide, specialmente sul rosso, sul verde e sull'azzurro; pei lampi diffusi righe e fasce oscure: e le attribuì alla diversa maniera di scarica, considerando i lampi lineari come vere scintille e i diffusi coma una specie di fiocchi elettrici. Credette inoltre di avervi distinte le righe dell'ossigeno e del nitrogeno, riconosciute poi anche dal Vogel. Nel 1901 il Freese foto-

grafò lo spettro dei lampi, e il Pickering vi scoprì, non solo le righe dell'idrogeno, ma ancora una larga fascia brillante che parve identica a quella delle nebulose, con un'altra riga ed un'altra larghissima fascia, distribuite come quelle che comparvero nella luce della *Nova Persei* — scoperta a Edimburgo dal rev. dottor Anderson il 22 febbraio dello stesso anno — la quale dalla forma di stella passò in tre mesi alla forma di nebulosa.

Da queste osservazioni spettroscopiche non si può finora arguire quale sia la costituzione fisica dei lampi: ma se ne deduce certamente che in essi splendono particelle di materia ponderabile più o meno copiosa, che debbono essere senza paragone copiosissime nei globi fulminanti. Il metodo è ottimo, e darà presto rivelazioni di sommo interesse scientifico.

XLI. — Un altro fatto da non trascurare è ancora quello dei fulmini che si sprigionano dal suolo. Tra le molte specie di fulmini classificate dal volterrano Aulo Cecina e tramandateci da Seneca, erano gli ***atterranea quae in incluso fiunt***, cioè dentro le costruzioni a pianterreno, e gli ***inferna cum e terra exiliunt*** (N. Q. lib. II. c. 49.). Plinio accennò anche il carattere pernicioso attribuito dagli etruschi a tali fulmini: « Etruria erumpere terra quoque arbitratur, quae infera appellant, brumali tempore facta, saeva maxime et execrabilia » (*H. N.* lib. II. c. 53.). Anche i caldei distinguevano più specie di fulmini, e in un frammento di mattone tradotto da Francesco Lenormant si legge: *La foudre de la terre... La foudre de l'eau* ([1]). E qui è da avvertire che tanto gli etruschi quanto i caldei erano abituati alla continua e minuta osservazione del fenomeno, perchè colla loro universale arte divinatoria ne traevano i più svariati presagi. Cicerone nel trattato *De divinatione* cita i libri *fulgurales et tonitruales* degli etruschi (lib. I, c. 33), ricordati anche da Plinio e da Servio: e Seneca, oltre all'opera di A. Cecina, cita quella del filosofo Attalo suo maestro. Non meno numerosi erano gli scritti caldaici sullo stesso argomento, siccome attestano le molte tavolette fittili rinvenute nelle biblioteche della Mesopotamia.

Ma i filosofi greci e latini non ammisero la realtà dei fulmini ascendenti, e Plinio spiegava la credenza etrusca colla illusione pro-

---

([1]) *La divination et la science des présages chez les Chaldéens*, par FRANÇOIS LENORMANT. Paris 1875. — Pag. 67.

dotta da un lampo orizzontale proveniente da nube lontana e bassa. Per quei filosofi il fulmine non era altro che una fiamma, suscitata nelle nubi in un modo o in un altro: e dovettero ricorrere a giuochi di fantasia per sostenere che quella fiamma potesse precipitare a terra invece di salire verso la sfera del fuoco, suo luogo naturale. Averroe sviluppò il concetto aristotelico di una fiamma impura, supponendo che la parte pesante prevalesse su quella ignea (¹).

Che io sappia, il caso storico più antico di fulmine forse uscito dal suolo sarebbe quello dell'anno 275, quando passò tra i piedi dell'imperatore Aureliano, e fu così narrato da Paolo Orosio: « Aureliano persecutionem decernenti diris turbinibus terribile ac triste fulmen sub ipsius pedibus ruit » (²). Ma l'esattezza storica dell'autore non merita assoluta fiducia, ed Eusebio Panfilo di Cesarea, che scrisse pochi anni dopo la morte di Aureliano, dice soltanto: « fulmen iuxta eum comitesque eius ruit » (³).

XLII. — Prima che Scipione Maffei illustrasse il caso di Fosdinovo, avvenuto nell'estate del 1713, non pare che gli studiosi di fenomeni naturali badassero al punto da cui parte il fulmine. La novità del fenomeno, la fama e l'erudizione dell'osservatore, conquistarono la fede universale sull'origine terrestre di quel fulmine, e anche adesso si ripone tra gli esempi più certi. Tuttavia non credo che tale origine sia veramente dimostrata. Il Maffei, il marchese Malaspina e la marchesa, conversavano in una sala al primo piano del castello mentre imperversava un temporale. Egli vide « verso il pavimento un fuoco vivissimo, e parte biancheggiante, parte quasi azzurro ». Quella massa luminosa girava su sè stessa senza spostamento. Poi si avvicinò emettendo una « lingua più sottile ». Si arrestò ancora per un istante, e in fine traversando la volta salì al secondo piano e vi fece cadere « un grandissimo quadro ». Nello stesso momento il Maffei s'intese passare « dietro le spalle come una striscia »: caddero calcinacci e

(¹) ARISTOTELIS STAGYRITAE, *Meteororum Libri quatuor: cum Aver. Cordubensis exactiss. commentarijs denuo acutissime traductis etc.* LUGDUNI, apud Iacobum Giunctam. M. D. XLII. — Pag. 49.

(²) PAULI OROSII *Historiarum adversum Paganos libri VII.* Vindobonae MDCCCLXXXII. Pag. 498.

(³) EUSEBI *Chronicorum Canonum* quae supersunt edidit Alfred Schoene. Berolini MDCCCLXVI. — Pag. 185.

si udì un tuono senza rimbombo (1). È certo che quello era un globo fulminante: ma esso potè venire di fuori, anche a porte chiuse, come è accaduto più volte, e come accadde a Gand nel 1521, quando un globo di fuoco scorazzò a lungo dentro l'aula dove Guglielmo Bibaucio faceva lezione.

Il Maffei non dubitava che quel fulmine di Gand fosse nato nella stessa scuola, e lo citò a prova della sua eccessiva opinione, sostenuta insino alla morte, che tutti i fulmini escono di terra. Ebbe il favore di molti fisici, ed alcuni scettici presto si convertirono. L'ab. Girolamo Lioni, che non gli credeva, vide egli stesso un globo fiammante correre in alto e scoppiare. Si destò così una gara di osservazioni, avidamente ricercate, ma poco discusse. Le più sicure sono quelle che colsero direttamente il principio del fenomeno.

Nel giugno del 1724 due frati minori videro a Lucca un globo spiccarsi dal suolo, montare in su e scoppiare: e poi il sacerdote Piccoli notò sul veronese lo stesso fatto. — Nel 1725 il Seguier vide presso Nîmes una massa luminosa elevarsi da un campo e tuonare: e qualche anno dopo vide anche a Verona i fulmini salire come razzi. — Il 21 giugno del 1745, con aria poco nuvolosa, molti videro sbucare da una chiavica di Bologna un globo che andò ad esplodere orribilmente sul campanile di santa Cristina e ne demolì gran parte: e una vecchia monaca raccontò che molti anni avanti un altro globo era uscito dalla stessa chiavica ed aveva colpito il medesimo campanile. Anche a Perpignano l'avvocato Tastu vide un fulmine che sfuggì da una cloaca e danneggiò assai una casa lontana. — L'ab. Chappe ne vide uno a Parigi il 7 luglio 1766; un altro fu osservato dallo stesso astronomo insieme con Giacomo Cassini e col Prunelai il 6 agosto 1767; e in America poco lungi da Messico, avvisato dall'interprete e dai soldati di scorta, ne contò una grande quantità il 3 e il 5 maggio del 1769. — Nell'aprile del 1768 il Poivre e nel febbraio del 1771 il Legentil videro nell'Isola di Francia un fulmine salire e fortemente esplodere. — Ai 12 dell'agosto 1771 il principe di Condé e i suoi compagni ne videro pure uno elevarsi da terra a

(1) « *Della formazione de' fulmini:* Trattato del Sig. Marchese Scipione Maffei, Raccolto da varie sue Lettere ecc. In Verona MDCCXLVII ». *Lettera Prima* al Sig. Antonio Vallisnieri, pag. 2-3.

Chantilli, e tutti n'ebbero una forte scossa. — L'ab. Bertholon ne vide moltissimi a Brignai, a Gazoul, a Tolone, a Narbona e a Berziers dal 1772 al 1776. Anche a Sallon se ne videro parecchi il 21 giugno del 1774. — Nel novembre del 1775 Giuseppe Lalande narrò che grossi fulmini, come torrenti di fuoco, sgorgati dal suolo, colpirono il faro e incendiarono la polveriera di Villefranche: molti uomini fulminati. — Ai 28 del giugno 1778 il Mourgues e suo figlio videro a Marsillargues una grossa sbarra di fuoco salire verticalmente e spartirsi poi in due rami orizzontali e ondulati: e a mezzo settembre dello stesso anno a Mosan nel Trevigiano un globo fulminante fu da più persone visto sorgere presso la casa del pievano, scuotendo terreno e casa. — Nel 1755 il Bouguer assicurò di averne visto molti in un paese montuoso; il padre Feyjo riferì altrettanto; nel 1781 Giovanni Bernouilli giuniore scriveva da Berlino: « On a dans ce pays des exemples de la foudre s'élevant de terre »; e il Vivenzio confermava a Napoli la realtà del fenomeno.

Ma si presero per fulmini ascendenti anche le improvvise esplosioni di gas infiammabile. A Bevagna la lucerna calata in un pozzo di acqua cattiva, forse solfurea, suscitò una fiamma esplodente (Zannotti). — Presso Verona una gran fiamma con fortissimo scoppio partì da un letamaio in fermentazione (Lorgna). — Il medesimo avvenne poi a Perugia (Del Giudice) e a Miral presso Tolosa (Puymaurin).

Non è tuttavia egualmente facile la spiegazione di due casi raccolti da F. Orioli. — Nel febbraio del 1767 a Presburgo una fiamma conica e azzurra eruppe da un braciere di terracotta. Lo spezzò, serpeggiò per la camera, bruciò il viso e le mani d'una bambina. Poi una parte uscì dalla finestra: l'altra parte fracassò l'uscio, nella camera vicina spezzò una tavola e un altro braciere, rovesciò un baule, fuggì per la canna del camino, rapì e gittò in istrada alcuni prosciutti appesi sotto la cappa, e lasciò un puzzo di solfo durato qualche ora. — A Cellere di Castro, nell'agosto del 1815, da un ramoscello, carbonizzato per metà e quasi spento, si svolse fumo sottile, bianco e sibilante. Ad un tratto il tizzo balzò tutto scheggiato, e ne sfuggì un globo di fuoco che sparò come una fucilata: poi montò roteando per la gola del camino, diede un gran tuono, fece cadere diverse pietre da un muro, scavò un largo foro di fianco al telaio d'una finestra che

restò fracassata, e sparse lo « specifico puzzo del fulmine » ([1]). — Mi sembra che tali e tanti effetti non possano convenire all'ipotesi di un gas combustibile, sprigionato da poco carbone già acceso o da un piccolo pezzo di legno già carbonizzato in parte e quasi freddo.

XLIII. — Altri fatti più recenti. Il 26 agosto del 1821 l'Hogard vide ad Épinal un globo luminoso di 4 pollici (circa 11 centim.), che fischiando saliva obliquamente verso le nubi temporalesche, e là fece uno scoppio come quello di un mortaro. Ricevette una scossa, e se ne risentì per molti giorni (PLANTÉ) — Il 29 agosto del 1823 lo Schübler vide a Giengen una massa globosa incandescente salire alle nubi senza tuono (SESTIER). — Nel giugno del 1835, mentre un temporale passava su Manchester, i fulmini scaturirono da vari punti di una strada (M. SOMERVILLE). — A mezzodì del 2 luglio 1871 Ernesto Flammarion e un suo amico a Rouen si videro avviluppati da un lampo circolare: coloro che erano lontani videro invece un grosso globo che saliva rapidissimo (C. FLAMMARION). — La sera del 18 agosto 1878 G. Tissandier notò a Parigi che « de nombreux éclairs paraissaient s'élever de l'horizon pour aller rejoindre les nuages supérieurs ». — Nel pomeriggio del 7 maggio 1889 l'esattore di una cartoleria tornava a piedi da Noisy-le-Sec a Parigi. Mentre tuonava vide alla sua sinistra e a due o tre metri un globo assai lucente, che turbinava sulla strada. Ne sbuffavano « trois petits nuages de fumée grisâtre, d'une odeur âcre, suffocante, prenant à la gorge... L'odeur était celle du soufre, ou mieux de la poudre brûlée », I fiocchi di fumo erano diretti verso quell'uomo, il quale ad un tempo vide il baleno, udì il tuono come colpo di cannone « accompagné du fracas que feraient en tombant sur le sol des milliers d'assiettes », sentì alla gamba sinistra come una fortissima bastonata, e cadde svenuto, restando ferito e paralizzato per due mesi. L'illustre professore Charcot mi fece l'onore di chiedere il mio parere sul modo di spiegare quella singolare fulminazione ([2]).

Per Velletri posso riferire almeno quattro casi sicurissimi. — La sera del 31 decembre 1870 nevicò con lampi e tuoni. Verso le 17ʰ il professore Tommaso De Stefanis attraversava la piazza Cairoli, e sulla

---

([1]) *Opuscoli Scientifici*, T. II. Bologna 1818. — Pag. 28 nota 5ª, e pag. 27-29.

([2]) *Leçons du mardi à la Salpêtrière*. Professeur CHARCOT. Dix neuvième Leçon: *Accidents nerveux provoqués par la foudre*. Paris 1889. — Pag. 435-62.

neve che incominciava a coprire il selciato vide nascere un piccolo globo luminoso che, crepitando come fuoco di sarmenti, ingrandì fino a circa trenta centimetri. Allora si alzò subitamente, e al di sopra delle case corse fino al palazzo municipale, 300 metri lontano, ove scoppiò con tuono spaventevole, e pel filo di ferro legato ad un martello dell'orologio discese dentro e bucò ampiamente un muro di grande spessore. — Verso il mezzodì del 28 giugno 1875 un temporale estesissimo versava pioggia dirotta (2 buoni millim. al minuto). Cinque uomini e una donna si erano rifugiati dentro una stalla, e vi avevano ricoverati anche tre carri già carichi di vino coi cavalli attaccati. Essi videro spiccarsi vicino alla soglia un corpo luminoso, che fece il giro dei carri avventandosi alle sonagliere di campanacci pendenti dalla cappa del carrettiere, e poi uscì da una finestrella con inferriata a grandi scacchi. La donna e un uomo soltanto sentirono un certo fastidio sulla testa: i cavalli s'impennarono. Un campanaccio fu spaccato, un altro perdette il suono metallico, ma lo riacquistò dopo alcuni minuti: nessuna traccia di fusione. Un ebanista vide uscire dalla inferriata un corpo allungato, *un braccio rovente*, che battè sul selciato, rimbalzò come palla elastica e sparì con lampo abbagliante. Ma non era spento, perchè da molti segni e da altre testimonianze giunsi a sapere che montò lungo un tubo di latta verticale, e traforando il muro con un bucolino appena visibile penetrò in una sala del primo piano, percorse una cornice di legno lunga 8 metri e ne tolse l'oro su parecchi tratti, sparse grandi macchie nerastre sopra il parato di seta gialla che copriva la medesima parete, e passò al secondo piano per un piccolo pertugio tra il cielo della sala e il muro. Quivi empì di fumo nero densissimo una stanza, come ho detto di sopra (cap. XXXII), inaridì e sfibrò una piccola porzione della porta, e fuse alcune punte della ferratura. Poi entrò nella cucina in forma di verga arroventata, si fermò un poco sul pavimento, si slanciò contro una donna, le girò più volte intorno alle gambe divincolandosi come un serpente, la colpì al sommo dell'occipite, e in fine fuggì per la gola del camino. La donna cadde, ma fu subito sollevata dal marito, che pieno di terrore aveva tutto veduto. I capelli erano divenuti secchi e rigidi, e le doleva fortemente il cuoio capelluto, che restò indolenzito per una settimana. — Alle 16^h 24^m del 15 agosto 1881 vidi io stesso un lampo verticale, che saliva coll'apparenza e colla velocità di un razzo, a circa un chilometro da Velletri.

Il quarto caso, occorso nel luglio dell'anno corrente, è così descritto dal mio collega signor professore Enrico Guattàri: « Durante un temporale, che imperversò la sera del 6 luglio potei osservare dalla mia finestra vari lampi, dei quali qui ricordo quelli che mag-

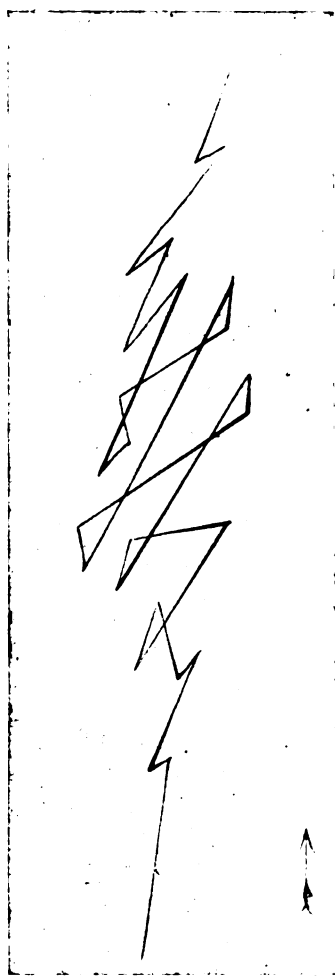



Fig. 7ª. — Lampo ascendente (Guattari).

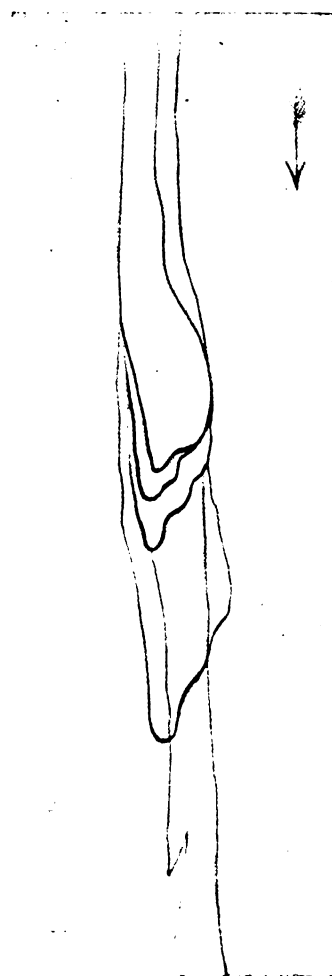



Fig. 8ª. — Lampo discendente (Guattari).

giormeute mi sorpresero. Alcuni avevano direzione ascendente (*Figura* 7ª), e quasi sempre apparivano a coppia. Il loro principio inferiore era una striscia rettilinea, indi procedevano a zig-zag: ma giunti ad una certa altezza assumevano l'aspetto di un nastro che si sviluppa angoloso e a guisa di spirale, per poi riprendere in alto

la primitiva forma di linea spezzata a lunghi tratti paralleli. La luce emanata dai punti più luminosi aveva una brillante colorazione in rosa-violaceo. Altri lampi erano discendenti (*Figura 8*), e prendevano l'aspetto di un grosso tronco a strie, che in alcuni punti mostrava la forma di sacca, come la fronte di un'onda, e ad ogni rigonfiamento l'orlo inferiore risplendeva di luce rossastra ». Questa seconda foggia di lampi mi sembra interessantissima, non solo perchè dimostra che la loro durata era tanto lunga da far distinguere le fasi successive del fenomeno, ma ancora perchè quella sequela di fiotti luminosi non credo sia stata mai vista da alcun altro direttamente e ad occhio nudo. Il prof. Guattari è un disegnatore e un acquarellista finissimo, e perciò ha l'occhio esercitato a cogliere le più minute apparenze delle forme.

Il p. Secchi ebbe notizia di un fulmine uscito dal suolo a Roma nel vicolo del Moro, siccome riferì l'ingegnere Augusto Statuti: e il dottor Domenico Colapietro mi assicura di averne visto un altro, simile ad un razzo di fuochi artificiali, nella campagna tra Frosinone e Ferentino. Sembra che questi fulmini ascendenti abbiano ordinariamente la forma di razzo o di globo. Quella di nastro angoloso la trovo notata una sola volta dal Bertholon a Narbona nel 1775. « Le 2 novembre de cette même année dans l'orage qu'il y eut sur le soir, je vis aussi plusieurs trainées de feu en zig-zag s'élever dans l'air avec un bruit sec » (Op. cit. T. I, pag. 152). Così la vide il Guattari.

XLIV. — I caldei interpretavano pei loro presagi anche *i fulmini dall'acqua* (cap. XLI): ma il fatto deve essere rarissimo, e non mi sono capitate che due sole osservazioni con circostanze tali, da garantire i caratteri speciali del fenomeno. — L'ab. Bertholon nel 1787 scriveva: « Très-souvent j'ai apperçu des courans de feu s'élever de la mer vers les nuées, lorsque l'orage est de ce côté de l'horizon, et cela particulièrement le 25 Août 1775 » (1). — L'altro caso avvenne nell'Atlantico settentrionale. « Le 12 novembre 1887, à minuit, près du cap Race, une énorme boule de feu apparut, s'élevant lentement de la mer jusqu'à la hauteur de 16m à 17m. Cette boule se mit à marcher contre le vent et vint s'arrêter près du navire d'où on l'observait.

(1) *De l'électricité des météores. A Paris*, M.DCC.LXXXVII. T. I, pag. 171.

Puis elle s'élança vers le Sud-Est, et disparut. L'apparition avait duré environ 5 min. » [1].

XLV. — Resterebbe a considerare qualche altro punto, come la varietà acustica dei tuoni, il loro rapporto colla forma e colla lunghezza dei lampi, le fasi, la durata ecc. Ma dai fatti che ho esposto, e dai molti problemi che ne derivano, apparisce abbastanza chiaro che il fulmine è un fenomeno assai più complesso di quel che comunemente si crede. Le sue manifestazioni elettriche non bastano a dimostrare che consista soltanto in una semplice scintilla, perchè nelle nubi manca un potenziale proporzionato, e perchè i caratteri del fenomeno esigono il concorso di altre cause e di altre condizioni tuttora ignote. Lo studio delle scariche dalle macchine e dai condensatori è importantissimo: ma il fulmine non procede da un conduttore metallico predisposto a determinati esperimenti. Se avvengono lampi quasi istantanei, più spesso ne avvengono di quelli che hanno durata bene apprezzabile, almeno fino ad un secondo, e le prove fotografiche e spettroscopiche rivelano indizi caratteristici della materia ponderabile, forse estremamente attenuata, forse anche trasformata secondo le ultime scoperte del chimico Ramsay. L'odore non è sempre quello dell'ozono, il fumo non può sempre svolgersi dai corpi circostanti, i colori variano, le tortuosità si complicano in cento modi. I lampi, che per la frequenza diciamo ordinarii, si convertono in globi o in altri volumi ben definiti: ma questi stessi volumi di materia lucente, talora fumosa e perfino oscura, scendono ancora dalle nubi — e vi furono visti in abbondanza — sorgono dal suolo e dal mare, compaiono anche a cielo serenissimo, rimbalzano, s'arrestano, galleggiano, svolazzano, turbinano, fischiano, si trasformano, si dividono; in principio poco o nulla riscaldano, poco o nulla scuotono, non uccidono, non feriscono, talora non assalgono corpi conduttori e punte metalliche; e poi, ad un certo momento, scagliano saette similissime ai lampi comuni nella figura e negli effetti, e scoppiano con una terribile forza meccanica, della quale non sappiamo immaginare l'origine. Una vera teoria del fulmine dovrebbe spiegare tutti questi fenomeni: ma siamo costretti a confessare di non conoscerla. Sapere di non sapere è già qualche cosa: è l'*initium sapientiae*.

---

[1] *L'Astronomie*, 1888. Pag. 76.

Tutto ciò non vuol dire che i parafulmini a punta sieno inutili o dannosi. La teoria frankliniana può essere insufficiente e anche erronea: ma, contro tutti i ragionamenti, una lunga e continuata esperienza insegna che essi sono veramente utili, e che divengono un pericolo solamente se malfatti o guasti. O. B. De Saussure istituì un curioso confronto tra i parafulmini e la vaccinazione, anch'essa violentemente combattuta. L'esperienza ne ha dimostrato i grandi vantaggi, ed ha aperto la via ad un sistema curativo e profilattico d'importanza capitale. Eppure non è ancora cessata la guerra contro la inoculazione del vaccino, che viene accusata di omicidio volontario.

TÉLÉMÉCANIQUE SANS FIL

PAR

ÉDOUARD BRANLY

Un radio conducteur intercalé dans un circuit de pile se comporte d'abord, comme on le sait, à la façon d'un isolant et maintient le circuit ouvert; il devient brusquement conducteur et ferme le circuit quand une étincelle de décharge de condensateur éclate à distance; cela tient aux courant induits oscillatoires qui parcourent, au moment de la décharge, les fils du circuit du radio-conducteur. La conductibilité d'un radio-conducteur, ainsi obtenue, disparait d'autre part par un choc. Ces deux propriétés des radio-conducteurs, les rendent propres à un usage intermittent; par l'action d'une étincelle, on ferme un circuit qui renferme un radio conducteur; on l'ouvre ensuite par un choc.

La télégraphie sans fil a eté jusqu'ici l'application la plus importante de la conductibilité intermittente des radio conducteurs. C'était d'ailleurs une des plus simples qu'on pût concevoir. Dans un circuit qui renferme un radio-conducteur, l'éclatement d'une étincelle à distance établit presque aussitôt un courant; ce courant provoque le fonctionnement d'un inscripteur Morse par l'intermédiaire d'un relais et un signal est inscrit par l'attraction de la palette de contact de l'inscripteur. Après le temps très court qui suffit pour l'inscription du signal, le passage du courant dans le circuit du radio-conducteur est interrompu automatiquement par une secousse due au choc de la palette contre un butoir. Une nouvelle étincelle trouve l'inscripteur revenu au repos, elle entraine comme la première fois son fonctionnement, le même mouvement de la palette de contact se reproduit.

La deviation d'un galvanomètre pour la vue d'un signal ou l'attraction du contact d'un électro-aimant pour l'inscription du signal ne sont pas des effets privilègiés, dans les conditions actuelles, et tout autre effet du courant, quel qu'il soit, peut être d'une façon analogue déterminé à distance, à un instant donné, par le jeu d'un radio-conducteur, sans fils de ligne intermédiaires.

Quand il s'agit de la production d'un effet quelconque, les circonstances qui favorisent la propagation des courants oscillatoires qu'engendre l'étincelle, entre le poste de commande ou poste de transmission et le poste d'exécution ou poste de réception, sont les mêmes qu'en télégraphie sans fil. Une longue tige verticale ou antenne reliée à l'excitateur de transmission et une antenne reliée au radio-conducteur de réception augmentent dans une très forte proportion la portée de propagation des courants oscillatoires à travers l'éther intermédiaire qui sépare les deux antennes,

L'emploi d'un radio-conducteur, intercalé dans un circuit de pile, à un poste récepteur, se prête ainsi à la réalisation d'un effet quelconque du courant électrique commandé par une etincelle qui éclate au poste transmetteur. Ces effets peuvent être très variés : incandescence de fils métalliques ou de lampes électriques, illumination de tubes vides, inflammation de corps combustibles, explosions de mines ou pièces d'artifice, décompositions chimiques, mise en marche de moteurs ou enfin, par l'intermédiaire d'électro-aimants, actions mécaniques les plus diverses, telles que forage de pièces métalliques, élevation de fardeaux etc.

Si, à un poste de réception, plusieurs circuits correspondant à différents effets, ont été constitués à l'avance, chacun avec son radio-conducteur et sa source d'énergie électrique, une même étincelle éclatant au poste transmetteur déterminera d'un seul coup la fermeture de tous les circuits et par cela même, la réalisation de tous les effets. Toutes ces experiences ne sont en somme que de variantes de l'expérience fondamentale par laquelle j'ai établi en 1890 ce qu'on a appelé le principe de la télégraphie sans fil.

Un effet particulier ayant été produit à distance, il n'y aura pas toujours intérêt à le suspendre immédiatement, comme il est indispensable de le faire constamment en télégraphie, mais il peut être avantageux de le laisser persister un certain temps pour l'utiliser, puis de le supprimer à un moment opportun. En intercalant dans le circuit de travail, correspondant à cet effet au poste récepteur, un déclancheur de construction appropriée dont le levier s'abaisse dans un premier temps et se relève dans un second, on fera succéder l'ouverture du courant de travail à sa fermeture. Dès lors, une première étincelle émise au poste transmetteur met le déclancheur dans sa première position où il ferme le circuit auquel il préside et réalise ainsi l'effet

préparé : une seconde étincelle relève le levier du declancheur et ouvre le circuit, ce qui supprime l'effet. On renouvelle ainsi, autant de fois qu'on le veut, la production, puis la suppression de l'effet commandé, pour une durée quelconque de cet effet.

On peut affirmer, d'une manière générale, que tout appareil qui obéit à un courant par des fils de ligne est susceptib'e, quel que soit l'agencement de ses organes, de fonctionner par étincelles, sans modification essentielle dans sa construction. Car le passage d'une commande avec fils à la même commande sans fil n'exige qu'un changement de courant. Au courant qui suit les fils de ligne on substitue le courant oscillotoire d'une étincelle pour le parcours de l'espace compris entre les deux postes. Tout se passe comme si ce courant oscillatoire voyageait de l'une à l'autre des antennes des denx postes à travers l'éther qui les sépare. Arrivé à l'antenne réceptrice, le courant oscillatoire se communique au circuit du radioconducteur. Le radioconducteur détermiue le déclanchement qui, dans la commande avec fils, était effectué directement par le courant qui parcourait les deux fils de ligne.

Cet aperçu fait comprendre que la télémécanique sans fil est susceptible d'applications aussi nombreuses que la télémécanique avec fil qui est si répandue.

Ces préliminaires étant posés à propos de la géneralisation de l'emploi des radio conducteurs, telle que je l'ai toujours envisagée dès le debut de mes rercheches, on peut opérer de differentes façons pour produire à distance, sans fil de ligne entre le poste de commande et le poste d'exécution, des phénomenès compliqués. Je me bornerai sur ce sujet aux essais qui me sont personnels.

Une première méthode se présentait. Un premier effet réalisé à distance au poste récepteur par l'éclatement d'une étincelle au poste transmetteur pouvait servir à provoquer un second effet, soit directement, soit par l'intermédiaire d'électro-aimants ; par le second effet on pouvait en déterminer un troisième et ainsi de suite, de telle sorte qu'une étincelle unique émise au poste transmetteur aurait entrainé au poste récepteur la mise en marche d'un système complexe, par des actions qui se commandent de proche en proche pour ainsi dire en cascade. Les actions successives peuvent d'ailleurs avoir lieu à des intervalles variables, si l'on fait intervenir pour les espacer des retardateurs convenablement règlés.

Aprés réflexion, j'ai renoncé à cette première façon de procéder. Il m'a semblé que la division du travail, ou la production indépendante des phases d'un phénomène complexe par des étincelles spéciales à chaque phase offrirait plus de sécurité. J'ai cherché en outre à faire connaitre à l'opérateur, même en dehors de la vue des actions qu'il produit à distance: en premier lieu, le moment précis où il convient de lancer une étincelle pour agir et, en second lieu, le succès ou l'insuccès de ses commandes.

Des dispositifs nouveaux que j'ai imaginés et que j'ai construits dans mon laboratoire, lentement, avec des ressources restreintes, donnent le moyen de résoudre, dans cette conception, d'une façon générale, le problème de la télémécanique sans fil. Un opérateur installé au poste transmetteur agit sur un poste récepteur où personne n'est nécessaire et réalise l'un après l'autre plusieurs effets. Il est bien entendu que cela n'est possible que si chacun des effets a été complètement préparé au poste récepteur dans le circuit qui lui est propre, avec la source d'énergie du courant de ce circuit, de telle sorte qu'il suffise d'un simple déclanchement pour le réaliser. Les effets peuvent être indépendants, ils peuvent aussi être solidaires les uns des autres et constituer les parties d'un ensemble. Par exemple, un sous-marin sans équipage ou un aérostat sans aéronaute sera susceptible d'être orienté et conduit. Il est encore permis d'imaginer la mise en marche ou l'arrêt d'une machine à vapeur, d'un train sur route ou sur voie ferrée, l'allumage ou l'extinction d'un phare.

Avec les dispositifs que je vais d'écrire, on produira des effets successifs préparés au poste récepteur, dans un ordre dont on reste le maître, on laissera persister ces effets pendant un temps arbitraire, on les suspendra ensuite dans un ordre quelconque.

Postes de télémécanique sans fil.

Le poste transmetteur et le poste récepteur doivent être présentés à part. Il y aura peu de chose à dire sur le poste transmetteur; le poste récepteur sera l'objet d'une description détaillée.

Poste récepteur. — Le poste récepteur a pour organe essentiel de son fonctionnement un distributeur. La localisation de l'action d'une étincelle, émise au poste transmetteur sur un effet particulier choisi

dans un groupe d'effets dont la réalisation est préparée préalablement au poste récepteur, est rendue possible par la construction de ce distributeur.

Distributeur. — Le distributeur consiste en un axe en acier sur lequel sont centrés des disques métalliques, isolés les uns des autres et de l'axe. Certains de ces disques sont interrupteurs, d'autres sont avertisseurs. Chacun des disques interrupteurs a pour fonction d'ouvrir ou de fermer un circuit qui est spécial à une action particulière. Pour cela le disque est renflé sur une portion de sa circonférence, formant un secteur, qui appuie sur une goupille pendant la fraction de tour de l'axe qui correspond à l'angle d'ouverture du secteur. Le contact du secteur et de la goupille livre passage au courant électrique distinct qui produit l'action à laquelle le disque préside.

L'axe distributeur est installé sur la face supérieure d'une cage métallique qui abrite un radio-conducteur et son circuit. Actionné à l'occasion d'une étincelle, comme en télégraphie sans fil, un relais contenu également dans la cage ferme un circuit extérieur.

Considérons par exemple un disque qui correspond à un allumage de lampes. En pressant sur sa goupille pendant la fraction de tour du passage de son secteur, le disque établit pendant cette fraction de tour la continuité d'un circuit qui comprend les deux contacts d'un relais, l'électro-aimant d'un déclancheur et une pile. Si, pendant la durée de cette fraction de tour, une étincelle éclate au poste transmetteur, elle rend conducteur le radio-conducteur d'un circuit spécial composé d'un élément de pile, de la bobine mobile du relais et du radio-conducteur lui-même. Le courant qui parcourt à ce moment le circuit spécial du radio-conducteur rapproche les deux contacts du relais en déplaçant électromagnétiquement la bobine mobile; le rapprochement des deux contacts ferme le circuit de l'electro-aimant du déclancheur. Le déclancheur ferme à son tour le circuit des lampes. Nous avons en définitive en jeu trois circuits: 1° circuit du radio-conducteur, fermé au moment où une étincelle éclate et faisant fonctionner le relais; 2° circuit du secteur et de la goupille, fermé si une étincelle éclate pendat la durée du contact secteur-goupille et faisant fonctionner le déclancheur; 3° circuit des lampes. Le premier circuit contient une pile très faible, le deuxième une pile plus forte et le troisième une pile qui peut être beaucoup plus forte.

Après un tour ou un nombre quelconque de tours de l'axe distri-

buteur, grâce à la construction du déclancheur et des deux positions qu'il prend alternativement, on éteindra les lampes en faisant éclater une étincelle au poste transmetteur pendant l'intervalle de temps où le disque spécial aux lampes appuiera par son secteur sur sa goupille.

Dans l'intervalle de temps où, à chaque tour, l'opérateur du poste transmetteur est maître de provoquer l'allumage ou l'extinction des lampes, aucune autre des actions préparées au poste récepteur ne peut se produire, car les autres circuits se trouvent alors interrompus, les contacts de leurs secteurs et de leurs goupilles n'ayant pas lieu. Pendant un tour de l'axe distributeur, les secteurs des disques ne touchent qu'à tour de rôle leurs goupilles respectives. Une étincelle du poste transmetteur ne peut provoquer à un moment donné que la fermeture d'un seul des circuits.

Télégraphe avertisseur automatique. — Le poste transmetteur peut ne pas voir le poste récepteur; il peut en être distant de 50, 100 Kilomètres ou plus; cependant l'opérateur du poste transmetteur doit être renseigné sur le moment où il peut agir et provoquer tel ou tel effet avec sûreté; il doit en outre être prévenu de la réalisation de l'effet qu'il a provoqué Ces renseignements lui sont fournis par des radio-télégrammes qu'il reçoit et qui s'inscrivent sur un inscripteur Morse dont la bande se déroule sous ses yeux. Les signaux inscrits au poste transmetteur sur la bande à dépêches de l'inscripteur Morse émanent d'une bobine d'induction dont le circuit primaire se ferme temporairement et automatiquement au poste récepteur. Cette télégraphie automatique sans fil se fait par l'intermédiaire d'un disque spécial qu'entraîne l'axe distributeur. Le disque affecté au télégraphe automatique est muni de plusieurs groupes de dents, par exemple cinq, dont les contacts avec des ressorts ferment le primaire de la bobine d'induction et font éclater à chaque tour de l'axe cinq groupes d'étincelles séparés par des intervalles de temps égaux. Chacun des intervalles de temps compris entre deux de ces groupes consécutifs d'étincelles correspond à un déroulement de plusieurs centimètres de la bande à dépêches de l'inscripteur Morse du poste transmetteur.

Les cinq groupes de dents, régulièrement espacés sur leur disque spécial, comprennent une dent pour le premier groupe, deux pour le deuxième, trois pour le troisième, quatre pour le quatrième, cinq pour le cinquième. C'est dans les intervalles qui séparent les groupes successifs de dents et par conséquent les signaux du télégraphe auto-

matique, que l'opérateur du poste transmetteur appuiera sur un mamipulateur pour émettre des étincelles et commander des effets au poste récepteur. Pour fixer les idées, nous allons choisir quatre effets particuliers. Nous supposerons que l'intervalle 1 - 2 (entre l'étincelle simple et l'étincelle double) est appliquable à la détonation d'un revolver, l'intervalle 2 - 3 (entre l'étincelle double et l'etincelle triple) à la mise en mouvement d'un ventilateur, l'intervalle 3 - 4 à l'incandescence d'un groupe de lampes, l'intervalle 4 - 5 à l'attraction d'un boulet par un électro-aimant, l'intervalle 5 - 1 est réservé à la rotation de l'axe distributeur, par un moteur intermédiaire sur lequel je vais insister.

Dans un premier modèle, l'axe distributeur sur lequel sont montés les disques interrupteurs était entraîné par un mécanisme d'horlogerie. Il a été avantageux de substituer à ce mécanisme un moteur électrique muni d'engrenages destinés à réduire considérablement sa vitesse sur l'axe. Par une disposition spéciale qui sera décrite, la mise en marche du moteur peut être déterminée à tout instant, indépendamment de l'axe distributeur, par une étincelle du poste transmetteur; on le laisse tourner pendant tout le temps nécessaire à la production des effets à réaliser par les étincelles du poste transmetteur; son arrêt est lui-même enfin obtenu par une étincelle du poste transmetteur dans l'intervalle où un disque qui lui est attribué presse sur une goupille. L'arrêt du moteur est ainsi un phénomène à effectuer au même titre que les autres phénomènes commandés pendant la rotation de l'axe distributeur; ici, l'arrêt du moteur est effectué dans l'intervalle 5 — 1.

Les étincelles du télégraphe automatique faisant connaître les moments précis où chaque effet particulier est susceptible d'être provoqué ou suspendu, l'opérateur du poste transmetteur travaille avec sûreté, sans avoir besoin de voir le poste récepteur dont il peut ainsi être très éloigné. Il importe que l'opérateur sache en outre si chacun des effets sur lesquels il a voulu agir a eu lieu réellement; il en est averti par des signaux de contrôle. Pour cela, l'axe distributeur porte, outre le disque à 5 groupes de dents qu'on peut appeler *disque des temps*, d'autres disques qui sont des disques de contrôle; un disque de contrôle est muni de deux dents. Un disque de contrôle est adjoint a chaque effet. En appuyant contre un ressort, les deux dents d'un disque de contrôle ferment le circuit primaire de la bobine d'induction

du télégraphe automatique deux fois à chaque tour de l'axe, et cette fermeture intermittente se répète tant que persiste l'effet auquel le disque est annexé.

Chaque étincelle de contrôle est caracterisée par un trait allongé qui se distingue des points indicateurs des temps. Quand un second effet partiel ne doit pas avoir lieu avant qu'un premier ait été effectué, on attend pour réaliser le second qu'on soit prévenu de la production du premier effet; on n'a pas, par conséquent, à redouter une fausse manœuvre. Quand il s'agit de procéder à la suspension d'un effet, on n'agit pour le suspendre que si on est préalablement prévenu de sa persistance.

Rôle alternatif des antennes. — Un même radio-conducteur suffit pour les divers effets; les différents circuits des déclancheurs rayonnent autour du circuit unique du radio-conducteur et du relais qui l'accompagne. La cage métallique qui l'abrite protège, en temps voulu, son circuit des étincelles indicatrices du télégraphe automatique

Au poste de transmission, l'inscripteur Morse dépend d'un radio-conducteur qui est également préservé aux instants opportuns par une cage métallique de l'influence des étincelles que lance l'opérateur.

Il y a une seule antenne au poste transmetteur et une seule antenne au poste récepteur. La même antenne de chacun des postes est amenée par le jeu de mécanismes, à jouer deux rôles distincts.

Au poste transmetteur, l'antenne qui propage jusqu'au poste récepteur le rayonnement des étincelles actives devient, en temps convenable, antenne réceptrice pourl 'inscripteur Morse qui reçoit les signaux du télégraphe automatique. Le changement de rôle de l'antenne est effectué par le jeu même du manipulateur, au moment des commandes.

Au poste récepteur, l'antenne est reliée à la bobine au moment de l'émission des étincelles du télégraphe automatique et elle est alors antenne d'émission, elle est antenne de réçeption quand les secteurs pressent sur les goupilles. Le rôle alternatif de l'antenne au poste récepteur est assuré par un disque à 5 secteurs égaux qui alternent avec des vides également égaux. A chaque tour de l'axe distributeur, les secteurs relient le radio-conducteur à l'antenne réceptrice pendant les 5 intervalles de temps où ils appuient sur la goupille. L'antenne a son rôle d'émission pour les 5 intervalles où les vides sont en face de la goupille. Un intervalle de temps tel que 2 — 3 compris entre les groupes 2 et 3 du disque des temps, correspond exactement au

passage devant une goupille d'un secteur plein du disque à 5 secteurs et d'un vide contigu du même disque.

Récapitulation sur l'ensemble des disques. – L'axe distributeur remplissant son rôle à l'aide de disques métalliques centrés sur son axe géométrique, nous allons jeter un coup d'œil d'ensemble sur les différents disques. Nous les grouperons en deux séries.

Une *première serie* comprend 7 disques, qui appuient par des secteurs en saillie sur des goupilles flexibles émergeant légèrement du plafond de la cage. Comme je l'ai déjà indiqué, la pression d'un secteur sur une goupille complète un circuit exterieur, si le relais de la cage établit en même temps un contact.

Ces disques sont: 1° un disque à 5 secteurs égaux, alternant avec des vides également égaux. C'est le *disque de l'antenne.*

2° Un disque à 5 secteurs identiques aux précédents, alternant aussi avec des vides identiques. Les secteurs et les vides occupent constamment, en regard, les mêmes positions que sur le disque précédent. A ce disque aboutissent les 5 circuits exterieurs des déclancheurs des 4 effets et du moteur, nous l'appellerons *disque commun.*

3° Cinq disques n'ayant chacun qu'un secteur unique; chacun des secteurs a la même position à tout instant que l'un des secteurs des deux premiers disques. A chacun des cinq disques aboutit un des cinq circuits extérieurs qui se réunissent au disque commun.

Une *seconde série* de 6 disques (ceux-ci sans communication à aucun moment avec l'intérieur de la cage) comprend:

1° Le *disque des temps*, qui offre sur son pourtour 5 groupes équidistants de dents étroites. L'intervalle 2 — 3 est le temps qui sépare, pendant la rotation de l'axe distributeur, le frottement des groupes 2 et 3 contre un ressort latéral. Cet intervalle 2 — 3 se décompose en deux parties: *une première partie* pendant laquelle le secteur du circuit du ventilateur appuie sur sa goupille en même temps qu'un secteur du disque de l'antenne appuie sur sa propre goupille et fait jouer à l'antenne le rôle de réceptrice; *une seconde partie* qui correspond au passage d'un vide devant les goupilles, aussi bien pour le disque du ventilateur que pour le disque de l'antenne; c'est à la fin de cette seconde partie qu'éclate une étincelle de contrôle, pendant que l'antenne joue encore son rôle d'émission.

2° Quatre disques de contrôle ayant chacun deux larges dents

situées, l'une avant le début d'un intervalle tel que 2 — 3, l'autre à la fin de cette intervalle.

3° Un disque commun, auquel se réunissent 5 circuits partant des ressorts qui frottent, soit contre les dents des disques des temps, soit contre les dents des disques des contrôles.

Afin d'éviter des étincelles qui useraient dents et ressorts, à l'échappement des dents contre les ressorts, les 5 courants des temps et des contrôles sont faibles et actionnent un relais extérieur qui ferme le circuit primaire de la bobine d'induction du télégraphe automatique, lors des contacts des dents avec les ressorts.

Mise en marche de l'axe distributeur. — Un électro-aimant vertical, fixé sur le dessus de la cage metallique, sert à mettre en marche à tout instant le moteur qui fait tourner l'axe distributeur. A cet effet, le noyau de l'électro-aimant est mobile; il porte à sa partie inferieure un anneau en ébonite qui repose par trois pointes métalliques sur trois goupilles émergeant légèrement du plafond de la cage. Une des goupilles relie le radio-conducteur à l'antenne. Les deux autres livrent passage au courant qui ferme le circuit du déclancheur du moteur quand le relais interieur fonctionne, à l'occasion d'une étincelle. Dès que le moteur tourne, le courant qui l'entraîne se met aussi à circuler dans la bobine de l'électro-aimant vertical, il soulève alors le noyau et maintient les pointes écartées des goupilles pendant toute la durée de la marche du moteur.

Fonctionnement général. — Pour donner une idée de la façon dont les ordres émanent du poste transmetteur et sont exécutés au poste récepteur, je vais décrire les manipulations qni se rapportent à la réalisation d'effets au poste récepteur. Je supposerai d'abord qu'il s'agit des 4 effets indépendants qui ont été choisis précédemment pour servir d'exemples.

A un moment donné, une étincelle étant émise au poste transmetteur, le moteur du poste récepteur se met brusquement de lui-même en marche sans que personne soit intervenu. Alors bientôt des groupes d'étincelles, également espacés, éclatent aussi d'eux-mêmes au poste récepteur, par suite de la rotation de l'axe distributeur et de la fermeture du circuit primaire de la bobine d'induction du télégraphe automatique, au moment des contacts du disque des temps avec le ressort qui frotte sur son pourtour. Des signaux dus à ces étincelles s'inscrivent au poste transmetteur sur la bande à dépêches et guident

l'opérateur. Si les phénomènes à provoquer sont indépendants les uns des autres, comme c'est le cas actuellement, et, si le premier intervalle qui se présente dans la rotation de l'axe distributeur est l'intervalle 2-3, on lancera une étincelle ou un petit groupe d'étincelles au commencement de cet intervalle, alors que la pression du secteur du ventilateur sur sa goupille permet la fermeture du circuit du ventilateur; le ventilateur se met à tourner. Un signal de contrôle à la fin de l'intervalle 2 — 3 prévient de la rotation. Dans l'intervalle 3 – 4 on procède de la même façon à l'allumage des lampes et, ainsi de suite, dans les autres intervalles pour les autres effets.

Quand tous les effets ont été produits, le ventilateur continue à tourner, les lampes restent allumées, le boulet demeure collé au noyau de l'électro-aimant. Les étincelles des temps continuent à se succéder pendant la rotation de l'axe distributeur, elles s'inscrivent en groupes de points distincts, très voisins dans chaque groupe. Avant et après chaque groupe de ces signaux des temps, deux traits allongés représentent les étincelles de contrôle qui accusent la persistance des phénomènes.

Quand on juge utile de suspendre les phénomènes, on agit sur eux par des étincelles du poste transmetteur lancées dans les parties mêmes des intervalles où ils ont été produits. On sait par la disparition des signaux de contrôle que les phénomènes ont cessé. Enfin, on arrête le moteur par une dernière étincelle lancée dans l'intervalle 5 — 1 qui lui est réservé.

Les effets à produire peuvent appartenir à la réalisation d'un phénomène *complexe* et l'opération totale a lieu encore en trois temps bien distincts. Pour mieux fixer l'attention, je supposerai qu'il s'agit de l'allumage et de l'extinction d'un phare et j'attribuerai des heures fictives aux trois temps de la mise en marche, de la vérification et de l'arrêt.

Mise en marche. — 8 heures du soir. Une première étincelle du poste transmetteur fait tourner le moteur et l'axe distributeur. Pendant la rotation de l'axe distributeur, les signaux des temps s'inscrivent sur la bande à dépèches sous les yeux de l'opérateur. Dans les intervalles utilisables qu'il connait, il lance des étincelles qui déclanchent successivement au poste récepteur les différentes phases de l'allumage à réaliser, dans l'ordre précis où elles doivent être produites, chacune n'étant commandée que si la précédente est garantie effectuée par

l'inscription des signaux de contrôle. Quand l'allumage est complètement établi, par une étincelle du poste transmettteur, lancée dans l'intervalle qui appartient au moteur, on arrête ce moteur.

Vérification. — Minuit. L'operateur veut s'assurer du bon fonctionnement des organes du phare. Par une étincelle, il fait tourner le moteur et l'axe distributeur. Les signaux des temps s'inscrivent, précédés et suivis des signaux de contrôle. La persistance du fonctionnement est donc confirmée. La vérification étant faite, l'opérateur arrête le moteur dans l'intervalle habituel. Cette vérification peut se répéter plusieurs fois entre la mise en marche et l'arrêt.

Arrêt. — 7 heures du matin. On fait tourner à la façon ordinaire le moteur et l'axe distributeur. Les signaux des temps et des contrôles indiquent que le fonctionnement est resté bon. On arrête alors les effets successivement dans l'ordre qui convient, puis on arrête le moteur dans son intervalle spécial.

J'ai limité ma démonstration à quatre effets distincts, parce que dans la pratique industrielle on peut réduire à un petit nombre le nombre des mouvements à exécuter. Il est bien entendu toutefois que le nombre des effets peut être quelconque. Pour prendre un exemple, avec 25 disques au lieu de quatre, on serait en mesure d'effectuer 25 effets; ces effets pourraient être l'impression des lettres de l'alphabet; cette impression serait provoquée par des étincelles que rien ne differencierait. Ce ne serait pas encore, malgré cela, une garantie absolue du secret des dépêches, puisque les lettres seraient caractérisées par leur position, au lieu de l'être par leur forme.

Il n'est pas inutile de faire remarquer que, dans les conditions exposées, chacune des opérations de la télémécanique sans fil peut être effectuée par un petit flux d'étincelles au lieu de l'être par une étincelle unique. On se trouve de la sorte presque complètement à l'abri des petites imperfections de l'appareil sensible aux ondes qui fait exécuter les commandes au poste récepteur.

Syntonisation

Les avantages et les inconvenients sont à peu près les mêmes, en pratique, en télémécanique et en télégraphie par étincelles. La dissémination des commandes d'un poste transmetteur sur un grand

nombre de postes récepteurs peut être parfois utile, mais elle est souvent aussi dangereuse. D'autre part, si à un certain moment, des étincelles imprévues, atmosphériques ou autres, viennent à faire tourner le moteur et l'axe distributeur et s'il en survient d'autres pendant les contacts des secteurs et des goupilles, l'opérateur assistera impuissant à des effets réalisés à contre temps, Comme en télégraphie sans fil, il est donc naturel de chercher à établir une communication exclusive entre deux stations. On a eu recours pour cela jusqu'ici dans les deux cas à un accord électrique des deux postes appelé Syntonisation.

Comme j'aurai à montrer que la Syntonisation électrique est insuffisante en télémécanique, il est utile de rappeler comment on l'obtient.

Principe de la syntonisation électrique. — La possibilité de l'accord de deux postes repose sur la nature vibratoire du rayonnement électrique. Comme les vibrations lumineuses, les vibrations électriques sont définies par la durée de leurs vibrations ou leur période.

La longueur d'ondulation étant le produit de la période par la vitesse de propagation qui est constante, la longueur d'ondulation peut servir à définir une vibration au même titre que la période.

La période des vibrations d'une étincelle électrique diminue avec la capacité du condensateur dont le manipulateur provoque la décharge et avec la selfinduction du circuit dans lequel s'opère cette décharge; la période des vibrations dans un circuit quelconque dépend encore de sa capacité et de sa selfinduction.

Malgré des différences numériques considérables entre la période d'un rayonnement électrique et la période d'un rayonnement lumineux, cette dernière étant incomparablement plus petite, les deux rayonnements présentent des propriétés communes qui découlent directement de leur nature vibratoire et qui s'appliquent à tous les mouvements vibratoires, en particulier aux mouvements sonores. Parmi ces propriétés, il en est une qui est particulièrement importante à propos de la syntonisation, elle est connue en Acoustique sous le nom de *résonance*.

La résonance provient de ce que chacune des oscillations d'un corps vibrant communique une petite impulsion à tout autre corps vibrant du voisinage par l'intermédiaire du milieu élastique qui les sépare. Les impulsions répétées s'ajoutent en se renforçant si le corps vibrant transmetteur a la même période que le corps vibrant

récepteur et les impulsions nouvelles viennent à chaque instant renforcer une impulsion acquise. On conçoit que la superposition répétée d'impulsions, même très petites, engendre un mouvement vibratoire appréciable.

Les remarquables expériences de Hertz ont démontré le fait de la résonance électrique. Hertz mettait en résonance un circuit transmetteur et un circuit récepteur. Son circuit récepteur consistait en un cadre circulaire en fil métallique; les extrêmités du fil, séparées par une coupure, pouvaient être rapprochées jusqu'au contact. Il faut donner au cadre un certain rayon pour que l'étincelle produite dans le récepteur par l'influence du transmetteur atteigne une longueur maximum, pour une distance et une position relative invariable des deux circuits. Le mouvement vibratoire électrique dans le cadre est alors à l'unisson du mouvement vibratoire du transmetteur; en d'autres termes, le circuit transmetteur et le circuit récepteur sont en résonance. Si l'on fait varier la période de la vibration électrique émise par le transmetteur, il faut faire varier en même temps le rayon du cadre pour le mettre en résonance, de même qu'en Acoustique chaque note demande un résonateur approprié. Un circuit électrique, mis en vibration par une étincelle, est ainsi capable de faire naître par influence son mouvement vibratoire dans un autre circuit accordé avec lui ou susceptible, en raison de sa forme et de ses dimensions, de rendre la même note.

La marche à suivre pour accorder deux circuits eléctriques a été tracée par des études théoriques bien anterieures aux experiences de Hertz; ces études ont fait connaître les conditions de capacité et de selfinduction qui doivent être remplies dans les deux circuits, dans le cas d'un mouvement vibratoire de periode donnée.

Insuffisance de la syntonisation. — La syntonisation ne suffit pas pour assurer une communication exclusivé entre deux postes, cela résulte de la pratique de la télégraphie sans fil. Dans les essais des premières années, l'accord des postes n'avait que peu d'utilité, car les vibrations émises à chaque étincelle par le poste transmetteur diminuaient si rapidement d'amplitude que la première oscillation comprenait presque toute l'énergie de la décharge; la première oscillation était la seule importante, les autres étaient peu perceptibles et l'influence à distance se traduisait par une sorte de choc dû à la première oscillation. Dans ces conditions, alors même qu'il y avait

accord, il n'y avait pas superposition d'impulsions sur le circuit récepteur et le poste récepteur n'entrait en fonctionnement que si le poste transmetteur était suffisamment puissant, et tout poste puissant agissait.

Actuellement, malgré des progrès très importants apportés dans la syntonisation, elle n'offre pas encore une garantie suffisante, surtout en télémécanique, où la garantie est encore plus indispensable. Un puissant exploseur perturbateur agit s'il est à proximité du poste récepteur; on peut d'ailleurs toujours faire passer le poste perturbateur par l'accord spécial au poste visé, à des intervalles assez rapprochés pour s'opposer à tout fonctionnement régulier. Pour cette raison et pour se préserver des étincelles de passage qui, par hasard, peuvent vibrer avec la longueur d'onde en usage, il faudra venir en aide à la syntonisation pour éviter des manœuvres à contre temps. Cette aide qui est superflue en télégraphie sans fil où une bonne syntonisation peut couramment suffire, reste jusqu'ici indispensable en télémécanique.

On comprend que la télémécanique sans fil exige une sécurité plus absolue que la télégraphie sans fil, car la non réalisation ou la réalisation inopportune d'un effet peut entraîner de plus graves conséquences que l'absence ou l'addition d'un point dans une dépêche.

J'ai imaginé des appareils de protection, indépendants de la syntonisation. Ils n'ont pas pour objet de suppléer à la syntonisation, qui est toujours désirable pour augmenter la portée, mais ils remédient aux imperfections de la syntonisation.

J'ai résolu le problème de la protection en deux fois. Je me suis d'abord proposé de garantir contre les étincelles accidentelles; ce sont celles contre lesquelles on aura surtout à se prémunir si la télémécanique se développe et est règlementée dans sa pratique. Je me suis occupé ensuite des perturbations prolongées.

Perturbations accidentelles.

Je vais d'abord indiquer les idées qui m'ont guidé dans la construction d'un appareil de sécurité contre des étincelles accidentelles.

En général, une opération de télémécanique sans fil (signal ou effet quelconque) est réalisée à l'aide de deux circuits électriques principaux; 1° le circuit du système sensible aux ondes (radio condocteur

ou autre revélateur), qui comprend la bobine mobile d'un relais; 2° un circuit de travail, fermé par les contacts du relais, lorsque le système sensible est impressionné par une étincelle; ce second circuit renferme une pile dite locale et un électro-aimant de déclancheur; un troisième circuit réalise l'effet; ce circuit est fermé par le fonctionnement du déclancheur.

Des étincelles perturbatrices accidentelles peuvent être rendues inoffensives de deux manières; soit par une syntonisation rigoureuse qui fait que le système sensible n'est pas impressionné par une étincelle de longueur d'onde fortuite, soit par une ouverture opportune du circuit de travail, qui fait que la conductibilité du radio-conducteur n'entraîne pas toujours de déclanchement

S'il s'agit d'étincelles perturbatrices purement accidentelles, aucune des deux manières n'est susceptible d'exercer une préservation mathématiquement certaine; toutefois, on peut trouver au problème, surtout par la seconde manière, des solutions qui sont réellement suffisantes.

C'est de la seconde manière, par ouverture du circuit de travail, que je me suis proposé de réaliser la préservation. Une étin-celle accidentelle ayant impressionné le circuit du radio-conducteur et le relais ayant effectué sa fermeture, le circuit de travail est maintenu pratiquement ouvert, au point de vue de l'effet à produire, par un interrupteur rotatif spécial qui est la pièce essentielle de l'appareil de sécurité.

Déscription de l'interrupteur rotatif. — L'interrupteur consiste en une roue que fait tourner un moteur à mouvement sensiblement régulier. Le pourtour de la roue est en matière isolante, sauf sur des touches conductrices très étroites qui servent à fermer le circuit de travail en réunissant transversalement deux balais flexibles parallèles. Les touches sont à peu près équidistantes; nous supposerons leur nombre égal à 5 (la sécurité croît dans une certaine mesure avec le nombre des touches).

Le déclanchement de l'opération est produit par l'intermédiaire d'une came que la roue interruptrice entraîne et qui fait un tour entier en même temps qu'elle. Avant tout mouvement de la roue, la came est au dessous de l'une des branches d'un levier déclancheur et les balais appuient à ce moment sur une touche quelconque, que j'appellerai la première touche. Une étincelle éclatant à un instant

quelconque, le radio-conducteur est impressionné, le relais exécute sa fermeture et la touche achève de fermer le circuit de travail. Par le jeu de l'armature d'un électroaimant qui fait partie du circuit de travail, le moteur est mis en marche et entraine la roue. Aussitôt que la roue se met à tourner, le circuit de travail est ouvert, car les balais glissent sur le contour isolant de la roue. Si, au moment où la seconde touche vient à passer sous les balais, une nouvelle étincelle n'éclate pas, une goupille arrête la roue ainsi que le moteur et, par un mécanisme que fait fonctionner un circuit électrique spécial, sans qu'on ait à intervenir, la came, qui a fait $^1/_5$ de tour, est brusquement ramenée au dessous de la branche du levier déclancheur, comme avant sa mise en marche. Tout est donc revenu dans un état semblable à l'état initial.

Quand une étincelle a lieu au moment du contact des balais avec la seconde touche, la roue continue sans arrêt sa rotation et la came effectue ainsi un nouveau cinquième de tour; s'il n'y a pas d'étincelle au moment du troisième contact, le moteur s'arrête et la came est également ramenée brusquement à son point de départ... Au passage de la cinquième touche au dessous des balais, les étincelles n'ayaut pas fait défaut au passage de quatre premières, si une nouvelle étincelle éclate, la roue continue à tourner ainsi que la came. Après avoir achevé son tour, la came est arrivée au dessus de la branche du levier déclancheur, au lieu de se trouver au dessous comme au début; en appuyant elle la fait basculer; cela détermine un déclanchement qui fait exécuter l'opération. La came est, après cela, ramenée automatiquement à son point de départ, par le même mécanisme que dans les retours antérieurs. La roue s'est arrêtée dans une position où les balais appuient sur une touche et elle s'y maintient si aucune nouvelle étincelle n'éclate. Tout est prêt pour recommencer.

Explication de la préservation. — Pour que le déclanchement qui détermine l'opération considérée ait lieu par un groupe d'étincelles accidentelles, on voit qu'il faut qu'il y ait une de ces étincelles qui éclate d'une façon précise à chacune des cinq fermetures consécutives qu'un tour entier de la roue établit dans le circuit de travail par le contact des touches et des balais. Dans les circonstances habituelles, on peut faire en sorte que cela soit infiniment peu probable.

Supposons, en effet, une roue de 10 cm. de circonférence faisant un tour en 20 secondes et attribuons à chacune des touches une lar-

geur de 1 mm., il faudra que le groupe des étincelles accidentelles comprenne 5 étincelles qui éclatent dans 5 intervalles spéciaux, très courts, puisqu'ils ont chacun une durée de $^1/_{30}$ de seconde. Dans les essais de perturbations accidentelles que j'ai tentés, ces 5 coïncidences ne se sont pas présentées. D'ailleurs, suivant les conditions des perturbations du voisinage dans la localité où l'on se trouve, on augmentera ou on diminuera la durée d'un tour et l'on fera varier au besoin le nombre des touches.

Usage de l'appareil de sécurité. — Cet appareil peut être adapté à tout dispositif d'opération en plaçant dans le circuit de travail l'électro-aimant qui préside à l'entraînement de la roue interruptrice. En particulier, si l'on fait usage de l'axe distributeur que j'ai décrit, on effectue chacune des opérations successives, dans l'intervalle de temps où le télégraphe automatique prévient qu'elle peut avoir lieu, en lançant du poste de transmission, avec un exploseur rapide, un jet ininterrompu d'étincelles serrées. On est alors maître de réaliser avec sécurité des effets sur lesquels des étincelles accidentelles n'ont pas pu agir.

L'emploi de cet interrupteur rotatif exige, comme on l'a vu, un certain temps; ce temps pourra être notablement réduit par une construction très précise, toutefois il ne s'applique pas à des effets qui ont besoin d'être produits instantanément.

Etablissement, avec l'interrupteur rotatif, d'une correspondance exclusive. — L'interrupteur rotatif peut encore servir à établir entre un poste transmetteur et un des postes récepteurs d'une installation de télémécanique sans fil, une correspondance exclusive, réalisée indépendamment de la syntonisation.

Dans une commande à distance où le poste récepteur est hors de vue, il est indispensable d'être renseigné sur les instants où les étincelles doivent être lancées du poste transmetteur. C'est pour fournir ces renseignements que l'axe distributeur et le télégraphe automatique du poste récepteur font passer, sur la bande à dépêches, devant les yeux de l'opérateur du poste transmetteur les intervalles pendant lesquels les étincelles commanderont efficacement, tel ou tel effet.

Un nouvel élément de concordance est susceptible d'être ajouté par l'emploi de l'interrupteur rotatif. Dans ce but j'ai modifié sa première construction.

Modification de l'interrupteur rotatif. — Dans le premier modèle,

la roue et la came se séparaient au moment du retour de la came, le changement apporté consiste à maintenir solidaires à tout moment la roue et la came. La roue accompagne donc la came lorsque celle ci revient brusquement au dessous du levier de déclanchement, soit après un tour entier et un effet produit, soit après une fonction de tour, à l'occasion d'étincelles fortuites. La *première* touche, sur laquelle appuient les balais avant l'entraînement de la roue et de la came par le moteur est alors une touche particulière et le rôle de cette touche n'est plus joué par une touche quelconque.

La roue modifiée continue à se comporter encore à la fois comme dispositif de sécurité et comme intermédiaire d'opération; mais, en outre, le retour de la roue elle-même et l'addition d'un nouvel organe au poste transmetteur donnent le moyen de choisir à un moment donné, parmi les postes récepteurs compris dans la zône d'action du poste transmetteur, celui sur lequel on veut agir.

Roue témoin au poste transmetteur. — Pour faire le choix entre plusieurs postes transmetteurs, le moteur qui entraîne une roue interruptrice R_1 doit être assez régulier pour qu'un tour de la roue ait lieu dans un temps à peu près fixe, par exemple à une seconde près sur 20 (on obtient aisément une régularité bien supérieure). De plus, on place au poste transmetteur une roue spéciale R_2 qui est mise en marche par un moteur lors de la fermeture du circuit d'un électro-aimant, comme dans les appareils qui portent les roues R_1; comme une roue R_1 encore, la roue R_2 s'arrête après un tour par le jeu d'une goupille. La roue R_2 n'a ni touches, ni balais, ni came, ni mécanisme de retour. Son moteur est règlé pour que la vitesse de rotation soit, au moins au degré d'approximation indiqué, la même pour les roues R_1 et R_2.

Au moment où l'opérateur abaisse le manipulateur qui sert à lancer les étincelles d'action, la roue R_2 se met à tourner, car le circuit de son électro-aimant se ferme; la première étincelle met en même temps en marche au poste récepteur la roue R_1; les deux roues R_1 et R_2 partent ainsi ensemble et font un tour dans le même temps. On peut remarquer que, si des rayons de même orientation ont été tracés sur chacune des roues R_1 et R_2 au repos, les directions de ces rayons se maintiennent parallèles sur les deux roues pendant un tour. La roue R_2 sert de *témoin* et fait connaître à l'opérateur les positions successives de la roue R_1, malgré son éloignement. Assurément, pour un certain nombre de tours consécutifs, la coïncidence des orientations

cesserait assez vite, à cause de la difficulté d'égaliser les vitesses des deux roues avec une rigueur suffisante, mais la coïncidence pour un tour en partant du repos est très aisée, elle est même susceptible d'être obtenue avec une grande approximation.

Roues interruptrices aux postes récepteurs. — Un interrupteur à roue R_1 est introduit dans le circuit de travail de chacun des postes récepteurs. Chacune des roues R_1 est entraînée par un moteur qui imprime à toutes la vitesse de la roue R_2.

Les roues R_1 que je désignerai par R_1 R_1' R_1'' diffèrent par la distribution des touches sur leur pourtour. Considérons-en deux seulement pour simplifier. Sur le premier quadrant qui commence à la touche de départ ou première touche, la roue R_1 offrira par exemple 6 touches en comprenant la première, elle n'en aura pas sur les autres quadrants. La roue R'_1 n'aura pas de touches sur le premier quadrant à la suite de sa première, elle en aura 3 sur la première moitié du deuxième quadrant et 3 sur la première moitié du quatrième quadrant. On rappelle ces distributions à l'opérateur en figurant les touches de R_1 en vert sur le premier quadrant dc R_2 et les touches de R'_1 en rouge sur le deuxième et le quatrième quadrants de R_2.

Fonctionnement au poste transmetteur. — On abaisse un instant le manipulateur du poste transmetteur, la roue R_2 se met à tourner par la fermeture du circuit de son électro-aimant et, en même temps, par la premiere étincelle, les roues R_1 et R'_1 tournent également. On relève aussitôt le manipulateur, R_1 continue à tourner, par le mouvement de son moteur, R'_1 poursuit son tour pendant le passage du premier quadrant, puisque R'_1 n'a pas de touches sur le quadrant; quant à la roue R_1, elle est revenue avec sa came au point de départ.

Au commencement du passage du deuxième quadrant, on abaisse de nouveau le manipulateur et on lance un flux d'étincelles serrées pendant la première moitié de ce quadrant, cela fait que R'_1 continue à tourner. Après être parti de nouveau, R_1 s'arrête bientôt. Pour faire achever la rotation de R'_1, il suffit d'un flux d'étincelles au passage de la première moitié du quatrième quadrant. Le poste auquel appartient la roue R'_1 a été mis ainsi en mesure de réaliser ses effets. Les passages sur les quadrants sont signalés par la vue de la roue témoin.

Pour faire tourner R_1 seul, à l'exclusion de R'_1, on lance un flux continu pendant le passage du premier quadrant, cela suffit pour la

rotation entière de R_1. Quant à la roue R'_1, elle est ramenée à son point de départ au début du deuxième quadrant. Le poste dont R_1 dépend entre ainsi à son tour en activité.

Les divers effets du poste auquel on s'est adressé sont continués en répétant avec le manipulateur les flux spéciaux qui se rapportent à R'_1 ou R_1, dans les intervalles que le télégraphe automatique du même poste fait inscrire sous les yeux de l'opérateur.

On comprend que des combinaisons dans la distribution des touches sur les roues R_1 des postes récepteurs permettent de faire tourner à volonté une seule d'entre elles et de mettre en action le poste dont elle dépend.

Si l'on a donné aux axes distributeurs des postes récepteurs des vitesses connues, on reconnait, sur le papier à dépêches de l'inscripteur Morse du poste transmetteur, celui des postes récepteurs qui a obéi, par la vitesse avec laquelle se succèdent les intervalles du télégraphe automatique correspondant.

L'usage des roues interruptrices et de la roue témoin n'est pas subordonné à l'emploi d'un axe distributeur, il s'applique à tout autre mode opératoire car il suffit qu'une roue interruptrice soit intercalée dans chacun des circuits de travail des postes récepteurs.

Perturbations prolongées.

La roue interruptrice qui préserve des étincelles ne serait pas efficace contre un exploseur perturbateur qui lancerait un flux ininterrompu d'étincelles. Une syntonisation parfaite serait elle-même insuffisante si l'exploseur perturbateur varie ses éléments d'accord et passe, à des intervalles rapprochés, par l'accord particulier aux deux postes qui sont en correspondance. Dans ces conditions, la perturbation rend la télégraphie sans fil difficilement praticable. En télémécanique sans fil, il y aura retard et il faudra attendre, avant d'opérer, la fin de l'orage; mais on peut au moins éviter toute intervention dangereuse des exploseurs perturbateurs.

L'appareil de sécurité que j'ai construit contre des étincelles perturbatrices ininterrompues se compose de solénoïdes de même axe géométrique, aspirant des tronçons de fer doux espacés sur une tige

non-magnétique qui les supporte et glisse dans l'axe commun des solénoïdes. Pour rendre plus commode la description des manœuvres et établir un lien avec ce qui précède, je supposerai que l'appareil de sécurité à solénoïdes est adapté à un dispositif qui commande une opération *unique* déterminée et que le dispositif est mon système de réception à axe distributeur tournant.

Les disques de l'axe distributeur ne seront pas en cette circonstance appliqués à produire différents effets, ils seront utilisés pour la manœuvre même de l'appareil préservateur à solénoïdes.

Description de l'appareil à solénoïdes. — Nous supposerons trois solénoïdes: deux destinés à faire avancer la tige mobile suivant l'axe, un servant à la faire reculer. Leurs circuits se ferment séparément, leur fermeture a lieu par l'intermédiaire des disques à secteurs et à goupilles quand le relais de la cage métallique établit en même temps un contact, à l'occasion d'une étincelle. La tige aspirée est formée de trois tronçons d'ébonite alternant avec deux tronçons de fer doux. Deux solénoïdes que j'appellerai C_1 et C_3 font avancer la tige dans un sens, le troisième C_2 la fait reculer en sens contraire et la ramène à son point de départ. Je désignerai par I, II, III les trois positions que peut prendre la tige. La position I est la position de départ ou de retour, la position II est la position que prend la tige quand elle a été aspirée par le solénoïde C_1, la position III est la position de la tige lorsque le solénoïde C_3 a agi après le solénoïde C_1. Par l'action du solénoïde C_2, la tige revient de II en I et de III en I.

Le disque des temps donne, par l'intermédiaire du télégraphe automatique, des signaux qui s'inscrivent sur la bande à dépêches. Il y a 5 groupes de dents qui espacent leurs étincelles sur des intervalles que je représente encore par 1-2, 2-3, 3-4, 4-5 et 5-1. Le solénoïde C_1 agit par un flux d'étincelles qui éclate dans l'intervalle 1-2; le solénoïde C_2 peut agir dans les intervalles 2 3 et 4-5; le solénoïde C_3 dans l'intervalle 3-4; l'intervalle 5-1 est réservé à l'arrêt du moteur.

Un réglage particulier des enroulements et de la position des tronçons de fer doux permet à C_3 d'aspirer la tige mobile de II à III, mais la laisse immobile si elle est en I. Par conséquent, C_3 ne pourra agir qu'après C_1 et sera sans action si C_1 n'a pas agi ou si une action de C_2 a été intercalée.

Fonctionnement normal de l'appareil préservateur. — Le moteur et l'axe distributeur ayant été mis en marche par une étincelle, on

lance dans l'intervalle 1-2 une étincelle qui ferme le circuit du solénoïde C_1, ce qui amène la tige mobile de la position I à la position II; une étincelle de contrôle prévient de ce déplacement. On laisse passer sans rien faire l'intervalle 2-3. Dans l'intervalle 3-4, on lance une étincelle qui ferme le circuit du solénoïde C_3 et fait avancer la tige mobile de la position II à la position III; on est encore prévenu de ce déplacement par une étincelle de contrôle.

En arrivant à la position III, la tige mobile ferme un courant spécial qui produit l'effet commandé. La réalisation de cet effet, qui était le but poursuivi par l'opérateur, est connue par une étincelle de contrôle.

Dans l'intervalle 4-5, on ferme par une étincelle le circuit du solénoïde C_2, l'action de ce solénoïde ramène la tige de la position III à la position I. On arrête enfin le moteur dans l'intervalle 5-1.

Afin d'éviter des mises en marche fortuites du moteur et de l'axe distributeur, l'interrupteur rotatif de protection contre les étincelles accidentelles est intercalé dans le circuit qui fait déclancher le moteur. Il faut alors pour entraîner le moteur lancer le flux d'étincelles qu'exige l'usage de l'interrupteur rotatif.

Fonctionnement troublé par des étincelles accidentelles. — Sous l'influence d'étincelles accidentelles, l'interrupteur rotatif peut partir et revenir automatiquement comme il a été expliqué à propos de l'emploi de cet interrupteur. Dans ce cas, le moteur reste au repos. Si, d'une façon tout exceptionnelle, la roue de l'interrupteur fait un tour complet et que le moteur se met à tourner, l'opérateur protège les récepteurs comme dans le cas d'étincelles prolongées.

Fonctionnement troublé par des étincelles prolongées. — L'opérateur est prevenu de la rotation du moteur et de l'axe distributeur en premier lieu par une sonnerie et en second lieu par l'inscription des signaux du disque des temps. Supposons qu'un signal de contrôle lui apprenne ensuite que le solénoïde C_1 a exercé son action et que la tige mobile a pris la position II. Si les étincelles de l'exploseur perturbateur ne cessent pas, le solénoïde C_2 agira à son tour et la tige mobile reviendra d'elle-même à la position I et les alternatives de I à II, puis de II à I pourront se reproduire. Mais l'opérateur ignore si la perturbation ne va pas, par hasard, cesser dans l'intervalle 2-3, auquel cas C_2 n'agirait pas et C_3 pourrait agir ensuite par de nouvelles étincelles pour amener la tige dans la position III et provoquer

l'effet qu'on veut en ce moment éviter. En raison de cette incertitude, l'opérateur lance lui-même un flux d'étincelles dans l'intervalle 2 — 3 et par l'action de C_2 ramène la tige à la position I. Dès lors, la position III ne peut plus être prise par la tige mobile, même si un flux d'étincelles éclate dans l'intervalle 3-4, car l'action du solénoïde C_3 n'est efficace que si la tige est déjà dans la position II; en effet, la longueur et la position des tronçons de fer ont été règlées préalablement pour que la tige, dans la position I, n'obéisse pas à l'effet exercé par C_3.

En résumé, tant que les perturbations se prolongent, la position de repos est assurée par l'opérateur ou par les étincelles de perturbation elles-mêmes.

Dans la description précédente, en faisant usage de l'axe distributeur, les actions des solénoïdes sur la tige mobile ont été substituées à des effets commandés, tels qu'ils avaient été présentés à propos de l'exposé du fonctionnement de l'axe distributeur. Pendant qu'une étincelle éclate dans un intervalle d'action et ferme le contact du relais de la cage métallique, le contact simultané d'un secteur et de sa goupille achève la fermeture du circuit de l'électroaimant d'un déclancheur; ce déclancheur ferme à son tour le circuit d'un solénoïde. Il y a de la sorte 5 déclancheurs; 1 pour le moteur, 3 pour les solénoïdes (le même déclancheur suffit pour les intervalles 2-3 et 4-5 où le solénoïde mis en jeu est le seul solénoïde C_2) et 1 pour l'effet commandé. Le circuit de l'électro-aimant de ce dernier déclancheur est un circuit particulier qui se trouve fermé par une disposition mécanique spéciale dans le mouvement de la tige mobile qui arrive à la position III, ce circuit n'est pas fermé ici par un contact d'un secteur et de sa goupille. On arrive à supprimer les 3 déclancheurs des solénoïdes en réduisant le poids de la tige mobile. La diminution du poids a pour effet de faciliter le glissement de la tige dans l'axe commun des solénoïdes et un courant moindre suffit maintenant pour communiquer aux solénoïdes la force d'aspiration nécessaire. Le rôle des disques de l'axe distributeur ne change pas; la différence est la suivante: le courant, fermé par le relais intérieur, qui se partageait primitivement entre la bobine du frappeur (frappeur du radio-conducteur) et l'électroaimant d'un déclancheur de solénoïde, actionne actuellement directemant le solénoïde en se partageant entre la bobine du frappeur et le solénoïde lui-même.

Résumé:

Bien que les opérations de télémécanique sans fils soient restées jusqu'ici simplement une curiosité scientifique et n'aient pas reçu d'applications importantes, il était interessant et même utile de rechercher les conditions pratiques dans lesquelles l'utilisation industrielle serait possible.

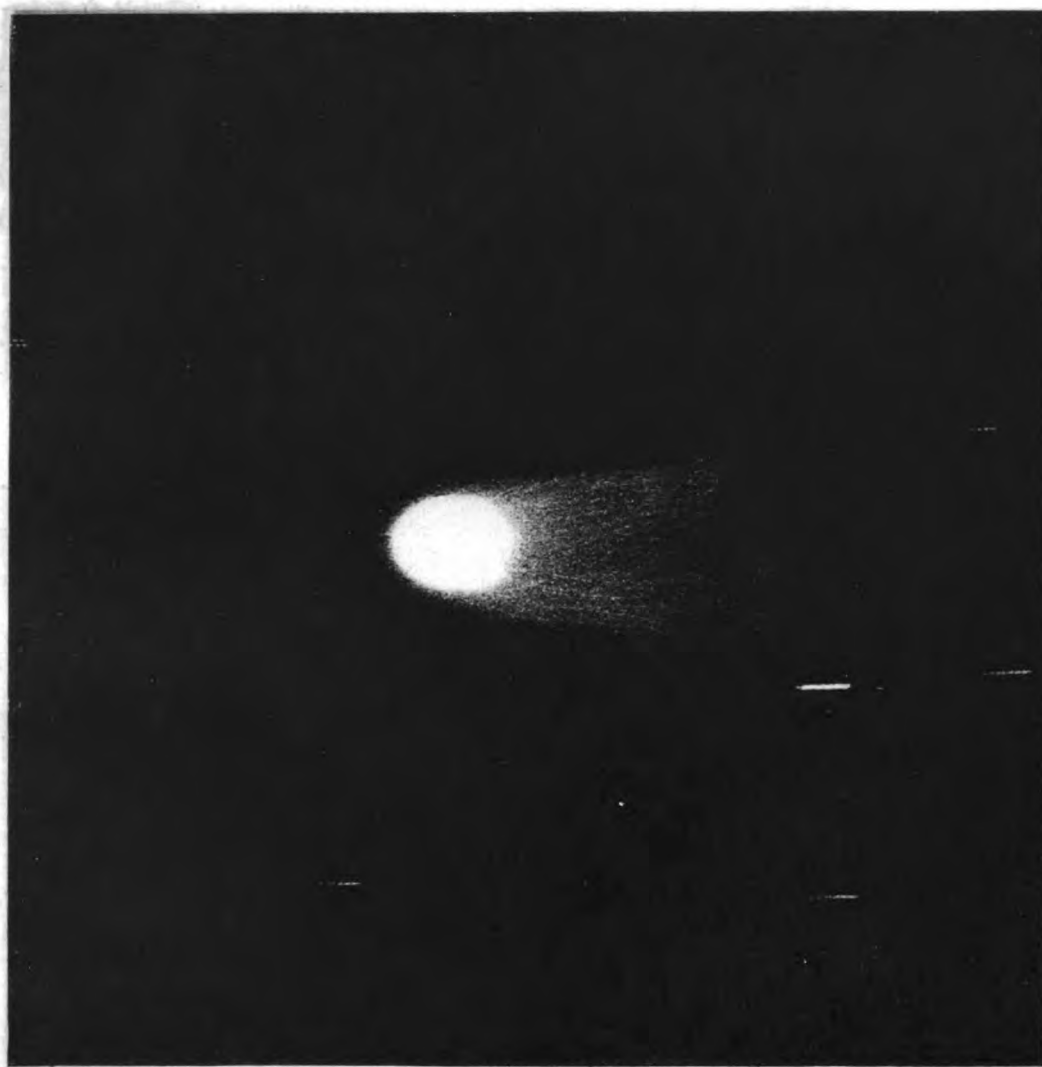
Quelque puisse être l'objet de la télémécanique sans fil, le cas où les effets à produire sont hors de la portée de la vue est celui qu'il convenait de considérer specialement, puisque des circonstances exterieures peuvent ramener à ce cas général d'autres cas qui seraient primitivement plus simples.

Le problème étant ainsi posé et des effets à réaliser étant préparés dans des circuits installés au poste récepteur avec la source d'énergie nécessaire à chacun des circuits, il était d'abord indispensable d'être prévenu du moment où l'on peut agir à distance sur chacun des circuits et opérer le déclanchement qui commande l'effet.

Comme nous l'avons vu, un axe tournant à disques distributeurs, avec disque des temps et télégraphe automatique remplit le but cherché. Sans parler des perfectionnements destinés à augmenter la rapidité des commandes, on pourra proposer d'autres solutions plus avantageuses, le premier point était d'en indiquer d'abord une. Elle est satisfaisante.

En télémécanique sans fil, beaucoup plus encore qu'en télégraphie sans fil, il est essentiel de se mettre en garde contre des rayonnements électriques étrangers au poste transmetteur. Soit que ces rayonnements interviennent d'une façon accidentelle, soit qu'ils résultent d'une obstruction systématique, nous avons vu qu'une syntonisation électrique même parfaite est insuffisante; il fallait venir en aide aux imperfections de la syntonisation. Un interrupteur rotatif contre les étincelles accidentelles, un appareil de préservation à solénoïdes contre les étincelles prolongées permettraient dès maintenant de recourir avec sécurité à des applications, même industrielles, de la télémécanique sans fil.

INDICE

LA COMETA DI DANIEL
FOTOGRAFATA ALLA SPECOLA VATICANA
DA P. G. LAIS

FOTOINC. DANESI - ROMA

INGRANDIMENTO QUINTUPLO DELL'ORIGINALE

ORIGINALE: 1' = 1 MILL.

P. G. Kaas — *Structure et fonctions biologiques du réseau endoplasmique du* Paramaecium Aurelia.